



Kuitukankaiden hydrofobisointi pilotkoneella

Kirsikka Nordström

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024

Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

NORDSTRÖM, KIRSIKKA:
Kuitukankaiden hydrofobisointi pilotkoneella

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2024

Opinnäytetyön tilaajana toimi Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK) yhteistyössä SUSTAFIT-tutkimushankeen kanssa. SUSTAFIT-hankkeen tavoitteena on lisätä kuitukankaiden kestäväen kehityksen mukaista käyttöä. Työssä tutkittiin kuitukankaan käyttäytymistä ja hydrofobisointia pilotkoneella.

Työn tarkoituksena oli selvittää, parantaako päällysteenä käytetyn AKD-dispersio viskositeetin nosto hydrofobisointitulosta kuitukankaalla. Kuitukankaan soveltuvuutta pilotkoneelle testattiin ensin arkkipäällystyksessä, jossa 50 g/m^2 hydrofiilisiä viskoosikuituarkkeja päällystettiin AKD-dispersiolla. CMC-liuosta lisäämällä AKD:n viskositeetti saatiin nostettua 42 mPas:ista 1200 mPas:iin. Viskositeetin nosto vähensi päällysteen impregnoitumista kuitukankaaseen, mutta ei poistanut sitä kokonaan. Lisäksi kuitukangasarkkeja koetettiin märkähajottaa ja kalanteroida, mutta näissä kuitukankaan toimivuutta ei saatu lisättyä.

Työn pilotkokeet suoritettiin applikoimalla paksunnettu Kemiran AKD-dispersio pilotkoneella SharpCellin ilmarainatun kuitukankaan pintaan. Pilotkoneen ajoparametrejä muutettiin parhaan päällystystuloksen saavuttamiseksi. Kuitukangasnäytteitä analysoitiin TAMK:n paperilaboratoriossa, jossa niistä mitattiin yleis-, lujuus- ja pintaominaisuuksia. Päällysteen lisäys nosti kuitukankaan vetolujuutta ja puhkaisulujuutta. Repäisylujuuteen sekä vesi- ja öljyabsorptioon päällyste vaikutti laskevasti.

Tulokset osoittavat, että kuitukankaan hydrofobisointi pilotkoneella on mahdollista. Koeajoissa esiintyi kuitenkin runsaasti radan katkeamisia, jolloin päällystetty kuitukangasmäärä jäi vähäiseksi. Lisäksi päällyste impregnoitui edelleen kuitukankaaseen eikä pilotkoneen kuivauskapasiteetti riittänyt sen kuivaamiseen. Pilotkone ei siten tällä yhdistelmällä sovellu käytettäväksi kuitukankaalle. Tutkimusta voi jatkaa käyttämällä joko tiheämpää tai eri menetelmillä valmistettuja kuitukankaita.

Asiasanat: kuitukankaat sustafit hydrofobisointi päällystys pilotkone

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences

Degree Programme in Bioproduct Engineering

NORDSTRÖM, KIRSIKKA:
Pilot Coater Utilization for Hydrophobization of Nonwovens

Bachelor's thesis 54 pages, appendices 4 pages
May 2024

This thesis research focused on the usability and hydrophobization of nonwovens on the pilot coater. The thesis was commissioned by Tampere University of Applied Sciences (TAMK) and SUSTAFIT, a research project that aims to increase sustainable usage of nonwoven fabrics.

The thesis aimed to conclude whether improving the viscosity of AKD dispersion influences hydrophobization on the pilot coater. Adding CMC to the dispersion raised the viscosity from 42 mPas to 1200 mPas. In preliminary trials, the increased viscosity lessened the impregnation of dispersion on the nonwoven fabric.

The thickened AKD dispersion, provided by Kemira, was then applied on the air-laid nonwoven fabric, provided by SharpCell, with the pilot coater. The pilot coater's driving parameters were altered for the best coating result. The coated samples were analyzed in the paper laboratory of TAMK, where it was concluded that the addition of the coating improved tensile strength and bursting strength while decreasing tearing strength and the absorbency of water and oil.

The results prove that it is possible to hydrophobize nonwovens with the pilot coater, although due to the coating impregnation, the drying capacity proved insufficient. Therefore, the pilot coater is not suitable for nonwovens with the combination used. The research could be continued with thicker nonwovens.

Key words: nonwovens sustafit hydrofobization pilot coater

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KUITUKANKAAT	7
	2.1 Yleistä	7
	2.2 Käyttökohteet	7
	2.2.1 Imukykyiset hygieniatuotteet	7
	2.2.2 Pyyhintätuotteet	8
	2.2.3 Suodattavat tuotteet	9
	2.2.4 Lääketieteen kuitukangastuotteet	9
	2.3 Valmistusmenetelmät	10
	2.4 Kuitukankaiden hydrofobisointi	12
3	KUITUKANKAIDEN KÄSITTELY	14
	3.1 Päällysteen valmistus	14
	3.2 Kuitukankaiden arkkipäällystys	19
	3.3 Kuitukankaiden märkähajotus ja arkkien valmistus	21
	3.4 Kalanterointi	25
4	PILOTPÄÄLLYSTYS	27
	4.1 Pilotkoneen kokoonpano ja päällystysmekanismit	27
	4.2 Ajoparametrit	28
	4.3 Koeajot	30
5	MITTAUSTULOKSET	35
	5.1 Laboratoriomittausten standardit	35
	5.2 Yleiset ominaisuudet	36
	5.3 Lujuusominaisuudet	39
	5.4 Pintaominaisuudet	43
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	47
	LÄHTEET	49
	LIITTEET	51
	Liite 1. CMC-liuoksen resepti	51
	Liite 2. Päällystyspastan resepti	52
	Liite 3. Yleisten ominaisuuksien mittaukset	53
	Liite 4. Lujuusominaisuuksien mittaukset	53
	Liite 5. Pintaominaisuuksien mittaukset	54

ERITYISSANASTO

EDANA	European Disposables and Nonwovens Association, eurooppalainen kuitukankaiden kauppayhdistys
filamentti	jatkuva, yhtäjaksoinen kuitu
hydrofobinen	vettä hylkivä
hydrofiilinen	vettä imevä
impregnointi	kyllästäminen
SUSTAFIT	Sustainable fit-for-purpose nonwovens -tutkimushanke

1 JOHDANTO

Kuitukankaita käytetään laajasti erilaisissa teollisuus- ja kuluttajatuotteissa. Kuitukankaita voidaan myös käyttää yhdistettynä muihin materiaaleihin, jolloin saadaan muodostettua monipuolisia, korkean suorituskyvyn tuotteita.

SUSTAFIT on tutkimushanke, joka on kehitetty vastaamaan suomalaisen teollisuuden tarpeisiin kestävien kuitukankaiden markkinoilla. Hankkeen keskiössä on yritysten kilpailukyvyn sekä kuitukankaiden käyttömahdollisuuksien kasvattaminen kestäväen kehityksen tavoitteiden mukaisesti. Hankkeessa toimivat yhteistyössä Tampereen ammattikorkeakoulu, Aalto-yliopisto ja Teknologian tutkimuskeskus. SUSTAFIT on osa Business Finlandin Bio & Circular Finland -ohjelmaa. (TUNI n.d.)

SUSTAFIT-hankkeen tavoitteena on lisätä tietoa kestävien, kierrätettyjen kuitujen käytettävyydestä kuitukankaissa tuoden esille myös sen, kuinka kuitukangastuotteiden materiaalit sekä valitut valmistusprosessit vaikuttavat lopputuotteiden ominaisuuksiin. Merkittävänä osana hanketta on kuitukankaiden vedenhylkivyyden sekä antimikrobisuuden parantaminen, joihin hankkeen käytännön demonstraatiot tuovat uutta tutkimustietoa. (TUNI n.d.)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on lisätä Tampereen ammattikorkeakoulun pilotkoneen käytettävyyttä kuitukankaille. Työssä haluttiin selvittää, parantaako päällysteen viskositeetin kasvu kuitukankaan hydrofobisointia pilotkoneella. Kuitukankaan ominaisuuksia tutkittiin ensin pienessä mittakaavassa arkkipäällystämällä, märkähajottamalla ja kalanteroimalla kuitukangasarkkeja. Opinnäytetyön pilot-ajoissa käytettiin SharpCellin ilmarainattua kuitukangasta, joka päällystettiin Kemiran biopohjaisella AKD-dispersiolla. Näytteet analysoitiin TAMK:in paperilaboratoriossa.

2 KUITUKANKAAT

2.1 Yleistä

Kuitukankaat määritellään taso- tai rainarakenteiksi, joissa kuidut tai filamentit saadaan liittymään toisiinsa mekaanisten, termisten tai kemiallisten käsittelyiden avulla. Kuitukankaat ovat rakenteeltaan huokoisia ja ne valmistetaan erillisistä kuiduista, sulatetusta muovista tai muovikalvoista. Kuitukankaille on ominaista, että niitä ei valmisteta kutomalla tai neulomalla eivätkä ne vaadi kuitujen muuntamista langaksi ennen kankaan muodostumista. (INDA n.d.)

Kuitukankaita voidaan valmistaa kertakäyttöisiksi tai käyttöältään rajallisiksi. Kuitukankaille tyypillisiä ominaisuuksia ovat mm. imukykyisyys, suodattavuus, nesteiden hylkimiskyky, tulenkestävyys, steriiliys sekä bakteeribarrieerinä toimiminen. Näitä ominaisuuksia yhdistämällä saadaan luotua monikäyttöisiä ja tarkoituksenmukaisia kuitukankaita, jotka ovat samalla kustannustehokkaita ja elinkaareltaan optimoituja. (INDA n.d.)

Kuitukankaat jaotellaan ominaisuuksiensa perusteella hydrofobisiksi tai hydrofiilisiksi. Hydrofobinen, yleensä synteettinen kuitukangas, hylkii vettä ja pysyy stabiilina. Hydrofobisia kuitukankaita käytetään tuotteissa, joissa tulee olla toimiva kuivabarrieeri ja kosteudensietokyky. Hydrofiilinen, esimerkiksi puuvillasta valmistettu kuitukangas, puolestaan imee vettä itseensä. Hydrofiilisiä kuitukankaita käytetään tuotteissa, joissa tarvitaan nesteiden ja kosteuden imeytymiskykyä sekä muotopysyvyyttä. (WPT Nonwovens 2019.)

2.2 Käyttökohteet

2.2.1 Imukykyiset hygieniatuotteet

Kuitukankaita käytetään laajalti imukykyisissä, kertakäyttöisissä hygieniatuotteissa, joihin lukeutuvat erilaiset vaipat, siteet, tamponit ja inkotenssituotteet. Kui-

tukankaasta valmistetut hygieniatuotteet ovat turvallisia käyttää ja niillä saavutetaan erinomainen imukyky sekä muotopysyvyys tuotteelle. (Russell 2022, 17–19; EDANA n.d.a.)

Kuitukankaita käytetään usein monikomponenttisina sekä monikerroksisina, joka toteutuu esimerkiksi vaippojen tapauksessa niin, että vaippa koostuu päällyskerroksesta, nesteen levittävästä kerroksesta, imukykyisestä ydinkerroksesta sekä joustavista kiinnikkeistä. Imukykyisten hygieniatuotteiden valmistuksessa käytetään useimmiten kuiva- tai sulakehruumenetelmiä. (Russell 2022, 17–19; EDANA n.d.a)

2.2.2 Pyyhintätuotteet

15 % kaikista valmistettavista kuitukankaista on pyyhintätuotteita. Kuitukankaiset pyyhintätuotteet ovat useimmiten kertakäyttöisiä ja ne voidaan jaotella kuiviin ja kosteisiin tuotelaatuihin. Kosteissa pyyhintätuotteissa kuitukangas impregnoidaan vesipitoisella emulsioseoksella, joka voi sisältää esimerkiksi siivousta helpottavia pinta-aktiivisia aineita, alkoholeja, tuoksuja, viskositeettiä muuttavia aineita, stabilointiaineita tai säilöntäaineita valmistettavan pyyhintätuotetyypin mukaisesti. (Russell 2022, 19–20.)

Pyyhintätuotteita valmistetaan sekä kuluttaja- että ammattikäyttöön. Kuluttajatuotteisiin lukeutuvat esimerkiksi vauvojen puhdistuspyyhkeet, kasvopyyhkeet sekä kosteus- ja puhdistuspyyhkeet käsille ja vartalolle. Useimmiten tuotteita käytetään ihokontaktissa. Lisäksi kuluttajatuotteita ovat esimerkiksi siivoukseen tarkoitetut kuitukangastuotteet, kuten yleispuhdistusliinat, desinfioivat puhdistusliinat ja silmälasien puhdistusliinat. Kotitalouksien pyyhintätuotteet on useimmiten tehty käytettäväksi kovilla pinnoilla. (Russell 2022, 20–21.)

Ammattikäytössä pyyhintätuotteet jaotellaan teollisuuspyyhkeisiin sekä lääketieteen ja terveydenhuollon pyyhkeisiin. Teollisuuspyyhkeet käsittävät eri teollisuusalojen, kuten elektroniikka-, auto-, tietokone- ja kuljetusteollisuuden käyttämät pyyhintätuotteet. Teollisuuspyyhkeitä käytetään esimerkiksi öljyn, maalien ja mui-

den petrokemiallisten aineiden pyyhkimisessä sekä työkalujen ja -pintojen puhdistuksessa. (Russell 2022, 21, 24.) Lääketieteelliset ja terveydenhuollon pyyhkeitä puolestaan käytetään pintojen desinfiointissa, infektioiden ehkäisemisessä sekä kirurgisissa toimenpiteissä (Russell 2022, 21).

2.2.3 Suodattavat tuotteet

Suodattavat tuotteet muodostavat yhden suurimmista markkinoista kuitukankaiden teollisuuskäytössä. Kuitukangassuodattimia käytetään nesteiden, ilman ja kaasun suodattamiseen teollisuuden lisäksi myös kotitalouksissa, sillä suodatintuotteet ovat energiatehokkaita, edullisia ja erilaisiin käyttötarpeisiin skaalautuvia. Lakimuutokset sekä ympäristö-, terveys- ja turvallisuusstandardit lisäävät suodattavien kuitukangastuotteiden markkinaosuuksia (Russell 2022, 35).

Suodattavia tuotteita voidaan valmistaa kaikilla kuitukankaiden valmistusmenetelmillä, sillä suodatustarpeet vaihtelevat eri tuotetyyppien välillä. Eri kuitukangastyyppijä on myös mahdollista yhdistää samaan tuotteeseen monikerrosrakenteeksi. (Russell 2022, 35). Suodattavilla kuitukangastuotteilla saavutetaan tasainen rakenne, repeämis- ja pistonkestävyys, korkea ilmanläpäisevyys, palonsuojaus ja kemiallinen resistanssi (EDANA n.d.b).

2.2.4 Lääketieteen kuitukangastuotteet

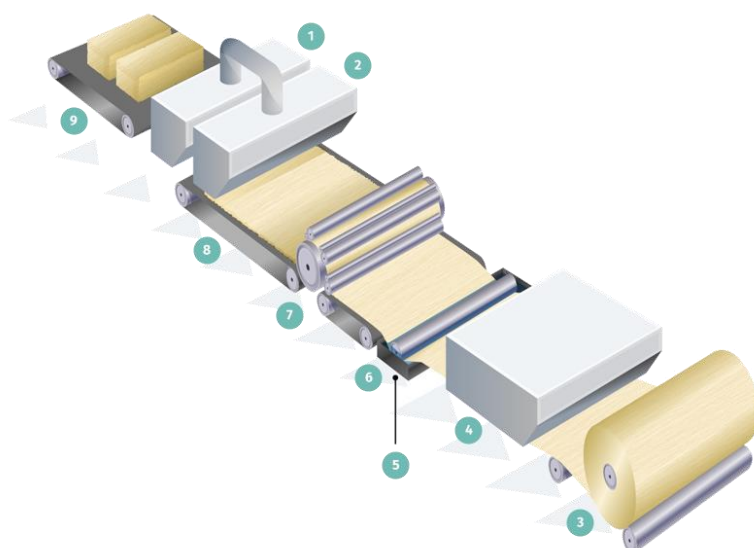
Lääketieteen ja terveydenhuollon käyttämät kuitukangastuotteet sisältävät sekä säänneltyjä lääkinnällisiä tuotteita että sääntelemättömiä tuotteita. Käyttökohteisiin sisältyvät niin kertakäyttöiset, monikäyttöiset kuin pitkäikäiset kuitukangastuotteet. (Russell 2022, 38–39.)

Kuitukangastuotteet auttavat riskikontaminaation ennaltaehkäisyssä ja torjunnassa sekä infektioiden hoidossa. Suojakankaiden tulee estää taudinaiheuttajien siirtyminen ja suojella terveydenhuollon henkilökuntaa, potilaita sekä laitoksen pintoja. Kuitukangastuotteisiin lukeutuvat esimerkiksi leikkaussalissa käytettävät päähineet, suojavaatteet ja kirurgiset kasvomaskit. (EDANA n.d.c.)

2.3 Valmistusmenetelmät

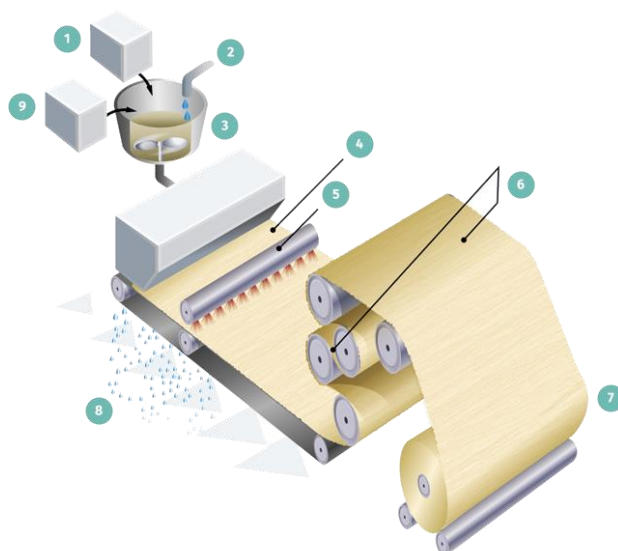
Kaikissa kuitukankaiden valmistusmenetelmissä kuidut kerrostetaan tai levitetään kuljetuspinnalle. Kuiva- ja märkämenetelmässä raina valmistetaan katkokuiduista ja kehräysprosesseissa käytetään jatkuvia filamentteja. Kuituraina vaikuttaa erityisesti lopputuotteen kuituorientaatioon sekä pituuteen ja leveyteen. Rainanmuodostusmenetelmä valitaan käytetyn kuidun ja tuotteiden mukaan. (Russell 2022, 9) Kuituraina lujitetaan mekaanisesti neulaamalla tai vesineulaamalla, termisesti kalanteroimalla tai kemiallisesti sideaineita käyttämällä (Wulforth & Gries 2012, 174).

Kuiva- eli drylaid-menetelmässä kuituja käsitellään kuivana. Yleisimmässä kuivamenetelmässä kuidut karstataan rainaksi useimmiten rinnakkaissuunnassa, jolla saavutetaan lopputuotteen hyvä vetolujuus, alhainen venymä ja repäisylujuus konesuunnassa. Muuttamalla koneparametreja ja käytettyjä kuitusekoituksia voidaan tuottaa laaja valikoima kuitukankaita halutuilla ominaisuuksilla. (EDANA n.d.) Rainanmuodostuksen jälkeen raina lujitetaan neularei'ityksellä, lämpö- tai kemiallisella sidoksella tai vesineulaamalla kuidut korkeapaineisilla vesisuihkuilla. Lujittamisessa voidaan käyttää yksittäistä tai useampaa menetelmää. (Russell 2022, 5) Kuivamenetelmän valmistusprosessi on esitetty kuviossa 1.



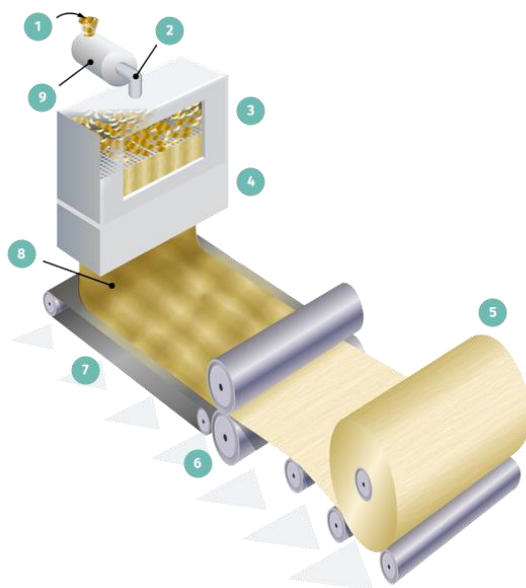
KUVIO 1. Kuivamenetelmän valmistusprosessi (EDANA n.d).

Märkä- eli wetlaid-menetelmä on samankaltainen paperinvalmistuksen kanssa. Veden ja kuitujen seos kerrostetaan liikkuvalla viiralle. Vesi poistuu viiran läpi ja jäljelle jääneet kuidut muodostavat rainarakenteen. Rainasta poistetaan vettä puristamalla sitä telojen välissä, jonka jälkeen raina kuivataan. Sideaineita lisätään yleensä myöhemmin prosessissa. (EDANA n.d.d.) Jotta märkämenetelmän kuitukankaita voidaan kutsua kuitukankaiksi eikä paperiksi, yli 50 massaprosenttia kankaasta tulee koostua kuiduista, joiden pituus-halkaisijasuhde on suurempi kuin 300 tai siinä tulee olla yli 30 % kuituja, joiden tiheys on pienempi kuin $0,40 \text{ g/cm}^3$. Tämä määritelmä sulkee pois monia kuitukangasrakenteita, jotka muuten luokiteltaisiin myös kuitukankaisiin. (Russell 2022, 5.) Märkämenetelmällä muodostetun rainan lujuus on samanlainen kone- ja poikkisuunnassa. Menetelmä soveltuu eripituisille kuiduille ja materiaaleille. (EDANA n.d.d.) Märkämenetelmän valmistusprosessi on esitetty kuviossa 2.



KUVIO 2. Märkämenetelmän valmistusprosessi (EDANA n.d).

Sulakehruu- eli spunlaid-menetelmän kuitukankaat sisältävät kehräämällä, sulapuhaltamalla tai näiden yhdistelmällä muodostettuja kuituja (Russell 2022, 5). Sulakehruun raaka-aineena käytetään termoplastisia polymeerejä, jotka ekstruoidaan filamenteiksi. Filamentteja venytetään ennen kuin ne asetetaan kuljetinhihnalle, jossa niistä muodostuu yhtenäinen raina. Sulakehruuprosessilla saadaan valmistettua kuitukankaita, joiden lujuus on suurempi kuin karstaamalla kuivamenetelmällä valmistetuissa kuitukankaissa. (EDANA n.d.d.) Sulakehruumenetelmän valmistusprosessi on esitetty kuviossa 3.



KUVIO 3. Sulakehruumenetelmän valmistusprosessi (EDANA n.d).

2.4 Kuitukankaiden hydrofobisointi

Kuitukankaiden hydrofobisointi eli käsittely vettä hylkiväksi saavutetaan pinnoittamalla kuitukankaan pinta hydrofobisilla yhdisteillä ja polymeereillä. Polymeerikalvokerros voidaan luoda nestekyllästyksellä, vaahtokyllästyksellä tai ruiskuttamalla. Perinteisesti hydrofobisointi on suoritettu käyttämällä silikoni- ja hiilifluoridihdisteitä vesidispersiona. (Russell 2021, 476–477.)

Hiilifluoridipinnoitteiden etuna on erittäin alhainen pintajännitys, joka estää kankaan pinnan vesipitoisen kastumisen hylkien myös öljyä, dieseliä ja bensiiniä. Hiilifluoridit, kuten PFOA eli perfluoriooktaanihappo, ovat kuitenkin terveydelle ja ympäristölle vaarallisia, joten niitä pyritään korvaamaan ympäristöystävällisimmillä vaihtoehdoilla. Kehitystyötä hiilifluoridien korvaamiseen on tehty monien vuosien ajan, mutta edelleenkin vain harvoilla yhdisteillä saavutetaan sama suorituskyky öljyn ja kemikaalien kestävydessä. (Russell 2021, 476–477.)

Eräänä esimerkkinä uusista sovellutuksista on Wennman ym. (2023) tutkimus, jossa pyrittiin luomaan täysin biopohjainen, hydrofobinen kuitukangas. Kuitukan-

kaalle käytettävä biopohjainen sideaine valmistettiin yhdistämällä CMC:tä, sitruunahappoon liuotettua kitosaania sekä herneproteiinia. Muuttamalla herneproteiinin rasvapitoisuutta sideaineessa selluloosakuitukankaiden hydrofobisuutta ja mekaanisia ominaisuuksia pystyttiin muuttamaan. Sideaineella kuitukankaan kuivaluus kaksinkertaistui sekä märkälujuus ja -jäykkyys olivat huomattavasti korkeampia kaikissa sideaineiden pitoisuuksissa. (Wennman ym. 2023.)

3 KUITUKANKAIDEN KÄSITTELY

3.1 Päällysteen valmistus

Opinnäytteessä kuitukangas päällystetään Kemiran toimittamalla biopohjaisella AKD-dispersiolla. AKD eli alkyylidiketeenidimeeri, on neutraaliliima, jota käytetään kuitujen hydrofobisoinnissa (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 46).

Lähtökohtana työssä toimi Toikan opinnäytetyö ”Pilot-päällystyskoneen käyttöönotto kuitukankaalle”, jossa koeasetelma toteutettiin ensimmäisen kerran. Toikan mukaan AKD-dispersiota käyttämällä kuitukangas absorboi dispersioaineen kokonaan (Toikka 2024), johon tässä työssä haluttiin tuoda parannus. Työn tutkimuskysymykseksi asetettiin selvittää parantaako AKD-dispersion viskositeetin lisääminen päällystystulosta kuitukankaalla.

Viskositeetin lisääminen tapahtuu käyttämällä paksuntajaa, joista yleisin on CMC eli karboksyyylimetyyliselluloosa. Viskositeetin lisäksi CMC nostaa päällystyspastan vesiretentiota (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 188.), joka osaltaan parantaa päällysteen pysyvyyttä päällystettävän tuotteen pinnalla.

AKD:stä ja CMC:stä valmistettiin 100 gramman päällystysnäytteitä, joissa tutkittiin CMC:n määrän lisäyksen vaikutusta näytteen viskositeettiin ja koostumukseen. Päällystysnäytteet on esitetty taulukossa 1.

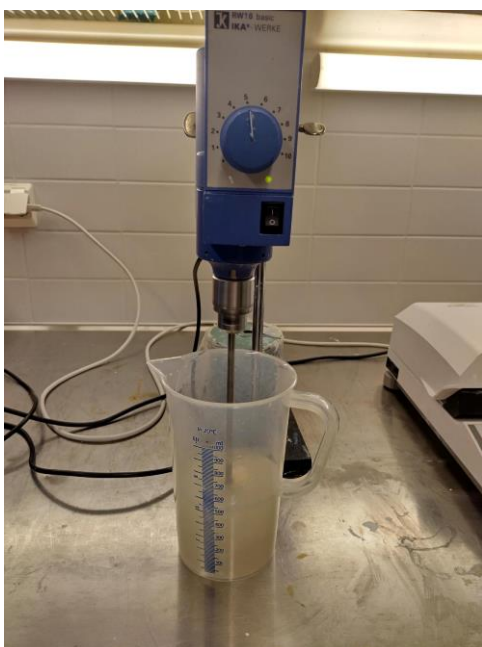
TAULUKKO 1. Päällystysnäytteet 10 % CMC:llä 22 % kuiva-ainepitoisuudessa.

Näyte	CMC:n määrä (osaa)	Viskositeetti (mPas)	Kommentit
AKD	-	42	
1	1	46	Ohut
2	2	56	Ohut
3	3	-	Ohut, CMC-sakkaa

Näytteiden ainemäärät muodostettiin käyttämällä pastareseptilaskuria. Näytteet valmistettiin sekoittamalla huoneenlämpöiseen AKD-dispersioon CMC-liuos sekä lisävesi tarvittaessa. Esimerkiksi näytteessä 1 94,7 grammaan AKD-dispersiota lisättiin 3,12 g vettä ja 2,2 g CMC:tä. Muut näytteet muodostettiin samaan tapaan. Näytteistä mitattiin viskositeettiarvot Brookfield Nidek DV-II+ -rotaatioviskosimet-rillä.

CMC:n lisäys nosti viskositeettia hieman, mutta se ei vaikuttanut näytteiden koostumukseen. Näytteeseen 3 muodostui sekoittumatonta CMC-sakkaa, joten viskositeettia ei saatu määritettyä. Koetta päätettiin jatkaa valmistamalla uusi CMC-liuos.

Uusi CMC-liuos valmistettiin granulaattimuotoisesta Finifix 700:sta, jonka kuiva-ainepitoisuus oli 98 %. Pastareseptilaskuria käyttämällä saatiin muodostettua 500 g CMC-liuoksen lähtöarvot. Tuotteen valmistajan antaman tietojen mukaan liuoksesta tuli tehdä 3 % vahvuista. 485 grammaa 50 asteista vettä annosteltiin mitta-astiaan ja laitettiin sekoittaja päälle. Vesipyörteeseen lisättiin vähitellen 15,3 grammaa Finifix 700:sta. Liuoksen valmistus on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. CMC-liuos sekoittajassa (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

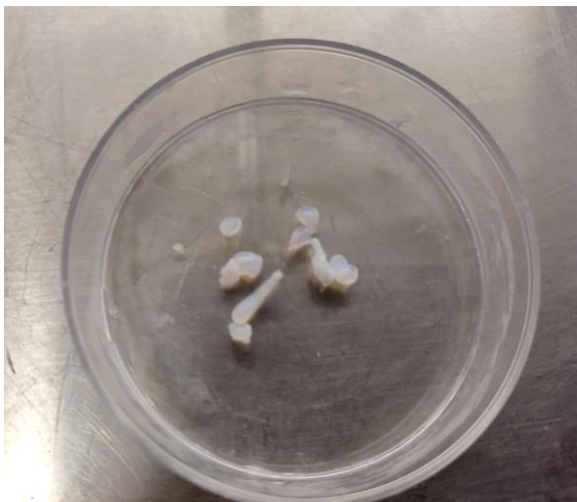
Liuoksen annettiin sekoittua 3 tuntia, jonka jälkeen kaikki CMC-granulaatit olivat liuenneet siihen. Valmiista CMC-liuoksesta mitattiin viskositeetti Brookfield Nidek DV-II+ -rotaatioviskosimetrillä. Viskositeetiksi saatiin 4000 mPas.

Koetta jatkettiin muodostamalla uusia päällystenäytteitä käyttämällä 3 % CMC-liuosta. Päällystenäytteet on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Päällystenäytteet 3 % CMC:llä 21 % kuiva-ainepitoisuudessa.

Näyte	CMC:n määrä (osaa)	Viskositeetti (mPas)	Sekoitustapa	Kommentit
4	1	-	Sekoittaja	Ohut, CMC-sakkaa
5	2	56	Sekoittaja ja sauvasekoitin	Ohut, ei sakkaa
6	3	66	Sekoittaja ja sauvasekoitin	Ohut
7	4	72	Sekoittaja ja sauvasekoitin	Ohut
8	5	110	Sekoittaja ja sauvasekoitin	Edellistä paksumpi
9	6	350	Sekoittaja ja sauvasekoitin	Edellistä paksumpi

Näytteet valmistettiin edellä esitettyyn tapaan. Näytteessä 4 muodostui jälleen CMC-sakkaa, eikä viskositeettia saatu määritettyä. CMC-sakkaa on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. AKD-dispersioon muodostunutta CMC-sakkaa (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Näytteessä 5 päätettiin kokeilla sekoittaa näyte ensin sauvasekoittimella. Näin CMC saatiin hajotettua nopeasti eikä sakkaamista enää esiintynyt. Tämän jälkeen näytteen sekoittamista jatkettiin sekoittajalla, kunnes muodostui homogeeninen seos. Näytteiden viskositeettiarvot jatkoivat kasvamistaan CMC:n määrän lisääntyessä, mutta vasta näytteessä 8 näytteen koostumus alkoi paksuuntua hieman. Näytteessä 9 käytettiin 6 osaa CMC:tä, jolloin viskositeetiksi saatiin 350 mPas. Viskositeetin kasvu oli edelleen maltillista, eikä muodostunut näyte ollut kovinkaan paksua, joten koetta jatkettiin laskemalla reseptilaskurin kuiva-ainepitoisuutta 16 prosenttiin edellisen 21 prosentin sijaan. Päälystenäytteet on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Päälystenäytteet 3 % CMC:llä 16 % kuiva-ainepitoisuudessa.

Näyte	CMC:n määrä (osaa)	Viskositeetti (mPas)	Sekoitustapa	Kommentit
10	6	804	Sekoittaja ja sauvasekoitin	Paksu
11	7	1200	Sekoittaja ja sauvasekoitin	Todella paksu, geelimäinen

Näytteessä 10 CMC:tä lisättiin jälleen 6 osaa. 21 % kuiva-ainepitoisuudella 6 osalla CMC:tä saatiin viskositeetiksi 350 mPas. 16 % kuiva-ainepitoisuudella viskositeetti kasvoi 804 mPas:iin, eli kuiva-ainepitoisuuden laskeminen paransi viskositeettia sekä näytteen koostumusta huomattavasti. Näytteessä 11 CMC:tä lisättiin 7 osaa, joka kasvatti viskositeettia edelleen 1200 mPas:iin. Tässä näytteessä koostumus oli jo todella geelimäinen ja sen katsottiin soveltuvan parhaiten käytettäväksi työn myöhemmässä pilotpäällystysvaiheessa.

Näytettä 11 valmistettiin isompi 2500 gramman erä pilotpäällystystä varten. Päällystyspasta resepti on esitettyä liitteessä 2. Isompaa erää varten myös CMC:tä piti tehdä uusi erä käyttäen samaa reseptiä kuin aiemmin (liite 1). Päällystepasta mitattiin kuiva-ainepitoisuus Mettler Toledo HB43-S Halogen -kuiva-ainemittarilla. Kuiva-ainepitoisuudeksi saatiin 16,63 %. Valmis päällystyspasta on esitetty kuvassa 5.

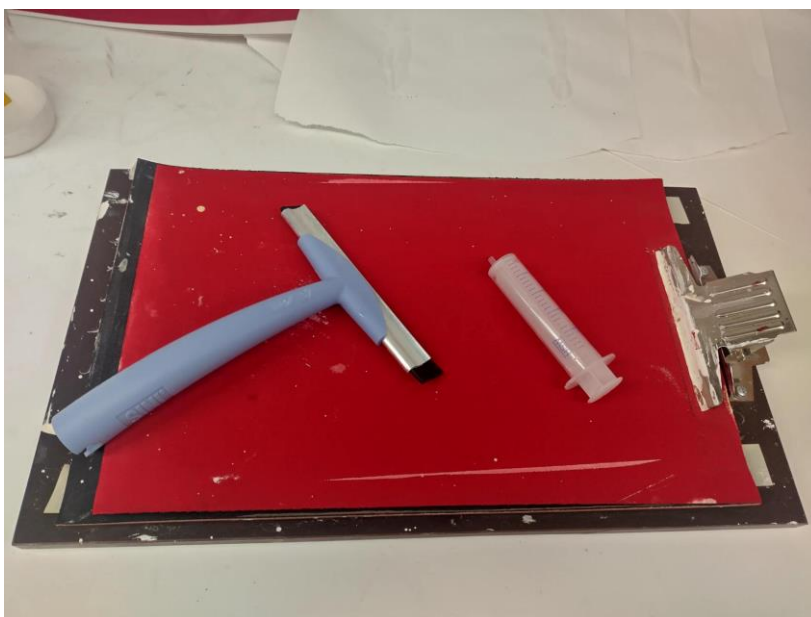


KUVA 5. Valmis päällystyspasta (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

3.2 Kuitukankaiden arkkipäälylysty

Arkkipäälylystyskokeet suoritettiin A4-kokoisille viskoosipohjaisille kuitukangasarkkeille. Kuitukangasarkkien neliömassa oli 50 g/m^2 , joka vastasi työn myöhemässä pilotpäälylystyksessä käytettävää kuitukangasta. Päälylystyksessä käytettiin taulukoiden 1–3 mukaisia päälylystenäytteitä sekä pelkkää AKD-dispersiota.

Työ suoritettiin käyttämällä käsikäyttöistä arkkipäälylystintä. Arkkipäälylystimeen asetettiin taustapaperi, jonka päälle laitettiin yksi kuitukangasarkki. Päälylyste annosteltiin kuitukankaan reunaan ohuena viivana ruiskua käyttämällä, jonka jälkeen päälylyste vedettiin lastan avulla kuitukankaan pintaan. Arkkipäälylystyksessä käytetyt välineet on esitetty kuvassa 6. Päälylystyksen jälkeen lasta pestiin ja koe toistettiin.



KUVA 6. Arkkipäälylystyksen välineet (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Kokeissa havaittiin, että päälylyste imeytyi kuitukankaaseen välittömästi, eikä sitä saatu levitettyä koko kuitukangasarkille. Päälylystettä imeytyi myös arkin alapuoliseen taustapaperiin. (Kuva 7)



KUVA 7. Päällystenäytteen imeytyminen taustapaperiin (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Näytteen 11 päällystyspasta oli kaikista paksuinta ja se saatiin jäämään paremmin kuitukankaan pintaan kuvan 8 mukaisesti.



KUVA 8. Näyte 11 kuitukankaan pinnalla (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

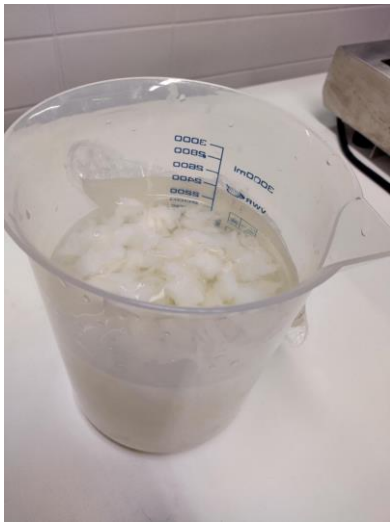
Lisäksi näytteen 11 imeytyminen taustapaperiin oli vähäisempää, mutta sitä ei kuitenkaan täysin saatu estettyä. Näytteen levittyminen kuitukankaan pinnalla ei parantunut, vaan näytettä saatiin levitettyä edelleen vain pari senttiä johtuen kuitukankaan pintarakenteen huokoisuudesta. Päällystystulos on esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. Päällystystulos näytteellä 11 (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

3.3 Kuitukankaiden märkähajotus ja arkkien valmistus

Seuraavaksi työssä haluttiin selvittää, olisiko viskoosikuitukangasarkkeja mahdollista märkähajottaa ja muodostaa massasulpusta uusia arkkeja arkintekolaitteella. Massasulppuun voisi lisätä massaliimaa tai työssä käytettyä AKD:ta ja tutkia, kuinka ne muuttavat arkkien ominaisuuksia. Työ aloitettiin punnitsemalla 40 g kuitukangasarkkeja. Kuitukangasarkit revittiin pieneksi silpuksi ja laitettiin likoamaan 2 litraan vettä, jonka tuli olla 20 asteista. Massaseoksen annettiin turvota neljä tuntia. Valmis massaseos on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Valmis massaseos (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Liuotettu massa hajotettiin L&W märkähajottimessa standardin SCAN-C 18:65 mukaisesti. 2 litraa massaa annosteltiin märkähajottimeen. Massaa hajotettiin 10 000 kierrosta. Märkähajotettu massa on esitetty kuvassa 11.



KUVA 11. Märkähajotettu massa (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Seuraavaksi märkähajotettu massa laimennettiin 2 g/litran pitoisuuteen lisäämällä siihen 18 litraa vettä. Massa tuli sekoittaa hyvin sekoittajalla (kuva 12).



KUVA 12. Laimennettu massa sekoittajassa (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Laimennetusta massasta valmistettiin arkkeja L&W arkkien valmistuslaitteella SCAN-C 26 standardimenetelmän mukaisesti. Arkkilaitte on esitetty kuvassa 13.

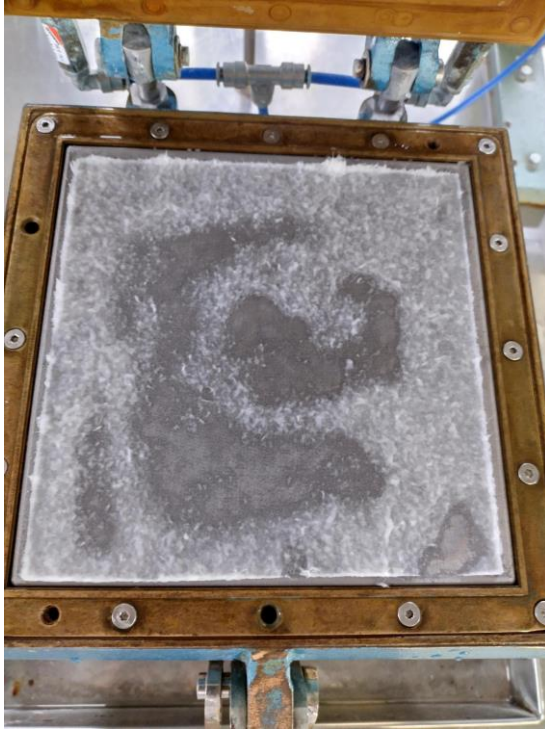


KUVA 13. L&W arkkien valmistuslaite (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Arkkimuotti täytettiin vedellä puoleen väliin, jonka jälkeen muottiin lisättiin 0,8 litraa laimennettua massaa. Laitteen ilmasekoitin käynnistettiin ja vesi tyhjennettiin

arkkimuotista, jolloin se meni viiraosan läpi ja arkkimuotin pohjalle muodostui rainakerros. Rainakerroksen päälle laitettiin imuarkki sekä metallilevy, jota tuli kaulia 5 kertaa. Tämän jälkeen metallilevy poistettiin ja arkin sai poistaa viiralta.

Kuvassa 14 on esitetty arkinmuodostuminen viiralla. Viskoosimassasta muodostunut rainakerros jäi viiran pintaan pienille nypyille ja rainakerros oli reikäinen.



KUVA 14. Epäonnistunut viskoosiarkki (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Myös arkin poisto viiralta oli vaikeaa ja aiheutti lisää repeytymistä arkkiin. (kuva 15)



KUVA 15. Epäonnistunut arkki imupaperin päällä viiralta poiston jälkeen (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Koe toistettiin 5 kertaa, mutta sama toistui eikä ehjiä arkkeja saatu muodostettua, joten koetta ei jatkettu.

3.4 Kalanterointi

Seuraavaksi työssä haluttiin selvittää, onko kalanteroinnilla vaikutusta kuitukan-
kaan huokoisuuteen. Työssä käytettiin edelleen 50 g/m² viskoosiarkkeja. Kalan-
terointi suoritettiin paperilaboratorion kalanterilla, joka on esitetty kuvassa 16. Ka-
lanterin tela lämmitettiin 20,2 asteeseen ja paine asetettiin maks. 30 bar:iin.



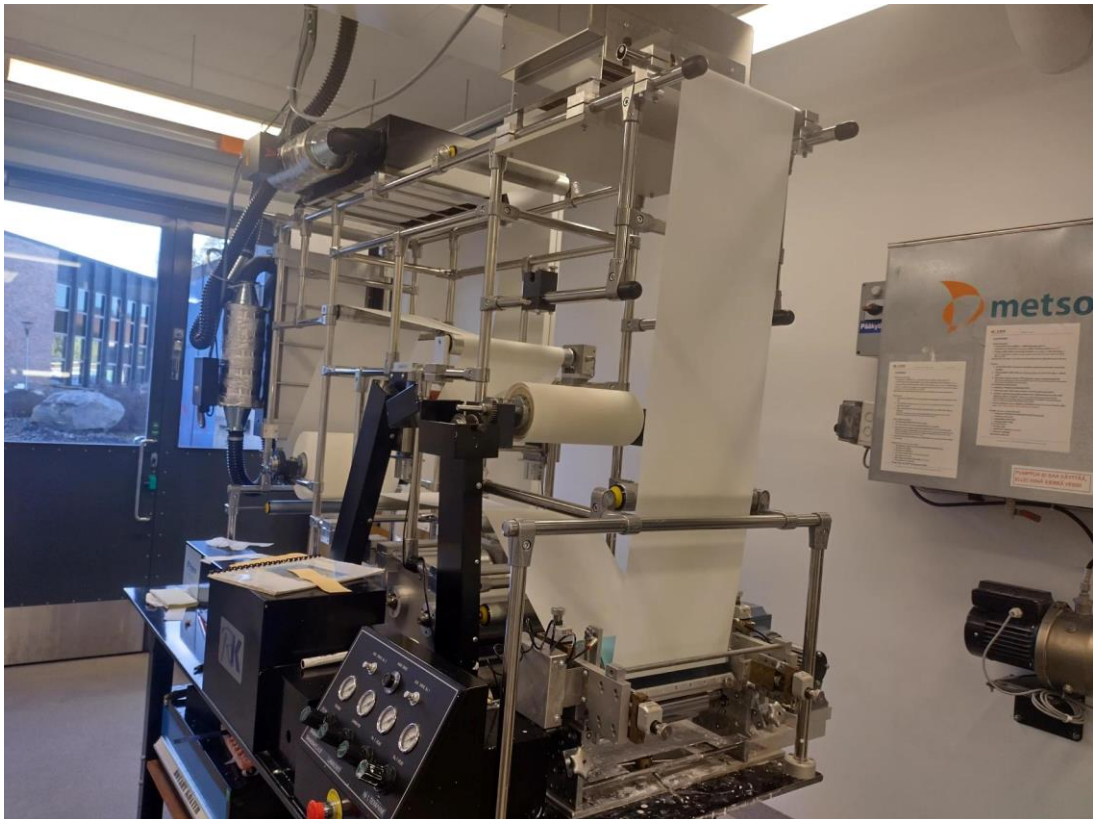
KUVA 16. Paperilaboratorion kalanteri (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Kuitukangasarkkeja kalanteroitiin 5, 10 ja 15 kertaa. Tämän jälkeen arkkeja keuhkettiin arkipäälystystä luvun 3.2. mukaisesti. Kalanterointi paransi arkkien siileyttä, mutta arkipäälystyskokeissa sen ei huomattu tuovan merkittävää parannusta päälystystulokseen ja erityisesti päälysteen leviämisen suhteen, joten koetta ei jatkettu.

4 PILOTPÄÄLLYSTYS

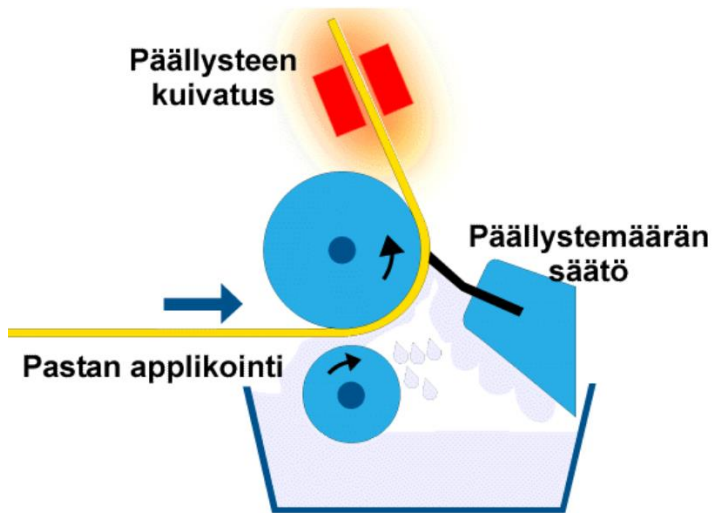
4.1 Pilotkoneen kokoonpano ja päällystysmekanismit

Ilmarainatun kuitukankaan päällystäminen suoritettiin Rotary Koater -pilotkoneella Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa. Pilotkonetta käytetään testiajoihin paperien ja kartonkien painatus- ja päällystyskokeissa. Koneen kuivausyksikkö käsittää viisi infrapunakuivainta, neljä kuivaussylinteriä sekä kaksi leiju-ilmakuivainta. Pilotajon kuivainten määrää ja ilmakeivainten lämpötiloja säädetään laitteen ohjauspaneelista. Pilotkone on esitetty kuvassa 17.



KUVA 17. Pilotkone (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Pilotkoneessa käytetään päällystysmenetelmänä sivelytelapäällystystä. Päällystysyksikkö koostuu sivelytelasta, vastatelasta sekä pastan applikointialtaasta. Sivelytelapäällystysen toimintaperiaate on esitetty kuviossa 4.



KUVIO 4. Sivelytelapäälystyksen toimintaperiaate (KnowPap versio 25.0, 2024a).

Sivelytela nostaa päälystyspastan vastatelan kautta päälystettävälle paperiradalle. Pintaan jäävän päälystyskerroksen paksuuteen vaikuttavia muuttujia ovat telarakojen suuruus, päälystepastan ominaisuudet kuten viskositeetti, vesirentio ja kuiva-ainepitoisuus, sivelytelan pyörimisnopeus sekä telojen halkaisijat. (KnowPap versio 25.0, 2024a; Häggblom-Ahnger & Komulainen 2006, 191, 195.)

Sivelytelapäälystyksen yhteydessä voidaan käyttää teräpäälystystä päälystemäärän säädössä. Kaavinterän voimatasapainoa säättäessä terän paperirainaan kohdistama voima muuttuu. Päälystemäärä pienenee, kun kuormitusta lisätään. (KnowPap versio 25.0, 2024b.)

4.2 Ajoparametrit

Pilot-koeajot suoritettiin käyttämällä luvussa 3.1. valmistettua päälystepastaa. Päälystepastaa valmistettiin 2500 grammaa, jossa AKD:tä oli 1625,4 grammaa, CMC:tä 872,3 grammaa ja lisänettä 2,37 grammaa. Pohjamateriaaleina toimi ilmarainattu kuitukangas. Lisäksi kaksi ensimmäistä ajoa suoritettiin pohjapaperilla verrokkidataa varten. Päälystyksen ajoparametrejä olivat kiinnirullaimen paine, käytetty telarako, terän käyttö, teräpaine sekä teräväli.

Kiinnirullaimen paine muuttaa ratakireyttä. Rainan kulkua testattiin ensin käynnistämällä pilotkone käyttämättä päällystyspasta, jolloin ratakireyttä oli helpompi muuttaa käytetyn pohjamateriaalin mukaisesti. Pohjapaperille sopivin ratakireys saavutettiin asettamalla kiinnirullain 1,5 bar paineeseen nopeudella 3,5–5 m/min. Kuitukankaalle vastaava ratakireys saavutettiin kiinnirullaimen 2,5 bar paineessa nopeudella 3,5–5 m/min.

Telarako tarkoittaa applikointitelan ja vastatelan välistä rakoa. Sen säätö tapahtuu manuaalisesti vastatelan reunoilla olevista ruuveista, jotka laskevat vastatelaan applikointitelaa kohti. Telarako vaikuttaa päällystyspastaan siirtymismäärään ja levittymisen tasaisuuteen. Telarako mitataan mikrometreissä, jolloin telaraon asetus 52, 81 olisi mikrometreinä 520 µm vasemmalla puolella ja 810 µm oikealla puolella. Koeajoissa pilotkoneen telaraon säätöruuveja ei voitu kalibroida, jolloin koeajon tulokset eivät vastaa mikrometrejä, vaan ne on ilmoitettu säätöruuvien asetusarvoina.

Kaavinterän säätö tapahtuu teräpainetta ja -kulmaa muuttamalla. Teräpaine painaa kaavinterää rataa vasten, jolloin ylimääräinen päällystyspasta siirtyy pois radan pinnalta ja päällystyskerros tasoittuu. Teräkulmaa säädetään teräyksikön reunoissa olevista säätöruuveista, jotka muuttavat terän ja vastatelan etäisyyttä. Koeajoissa kuitukangas asetti rajoitteita telapaineen käytölle, sillä kuitukankaan märkäluku oli alhainen, jolloin suurempia telapaineita ei voitu käyttää kuitukankaan repeytymisen vuoksi. Teräkulma pysyy vakiona 35 asteessa.

Koeajoissa käytettiin kuivatukseen kolmea leijuilmakuivainta 90 asteessa sekä kolmea 400 W infrapunakuivainta. Kuivausteho ei kuitenkaan ollut riittävä huokoiselle kuitukankaalle, sillä työn arkkipäällystysosion mukaisesti päällystettä imeytyi edelleen kuitukankaaseen. Jokaisen koeajon päätyttyä koepisteestä leikattiin näytteitä, jotka asetettiin kuivumaan arkinkuivaustelineeseen. Pilotkoneen osat tuli myös pestä huolellisesti ennen uuden koeajon aloittamista.

Pilotpäällystysajopöytäkirja on esitetty taulukossa 4. Taulukossa on listattuna koeajokohtaisesti kiinnirullaimen paine, telarako, terän käyttö, teräpaine sekä kommentit päällystysajon onnistumisesta.

TAULUKKO 4. Pilotpäälystyksen ajopöytäkirja.

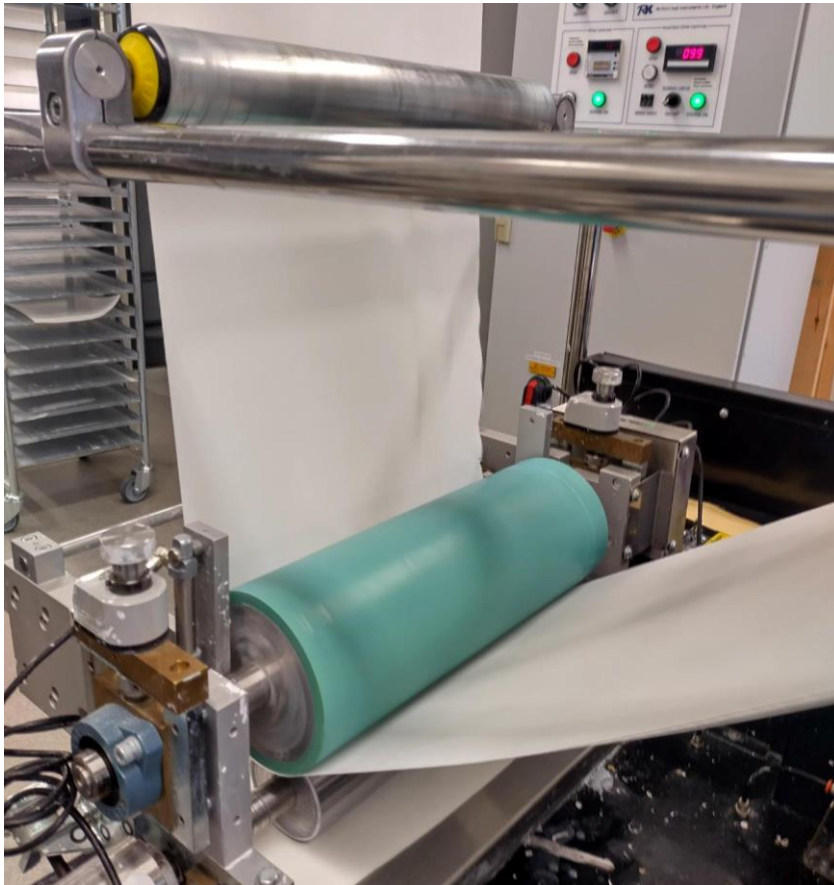
Koe ajo	Kiinnirullain (bar)	Telarako	Terä	Teräpaine (bar)	Materiaali	Kommentit
1	1,5	52, 81	Kyllä	1,5	Paperi	Kuivatus ei riittävä
2	1,5	52, 45	Kyllä	1,5	Paperi	Kuivatus ok
3	2,5	52, 88	Kyllä	1,5	Kuitukangas	Epätasainen, poikki
4	2,5	32, 68	Kyllä	2	Kuitukangas	Parempi kuin 3, päälystetty reunoilla, poikki
5	2,5	32, 68	Kyllä	1	Kuitukangas	Läikikäs, poikki
6	2,5	28, 30	Ei	-	Kuitukangas	Pisaroita pinnalla, poikki
7	2,5	22, 58	Kyllä	-	Kuitukangas	Parempi kuin 6, poikki

4.3 Koeajot

Pilot-ajot aloitettiin kahdella pohjapaperin koeajolla. Ensimmäisessä koeajossa kiinnirullaimen paine asetettiin 1,5 bar:iin, telarako arvoihin 52 ja 81 sekä teräpaine 1,5 bar:iin. Kuivatuksessa käytettiin kahta leijuilmakuivainta 90 asteessa ja kahta infrapunakuivainta. Päälysteen havaittiin levittyvän epätasaisesti ja paperi ei kuivunut täysin, joten ajoparametrejä muutettiin hieman toiseen koeajoon. Siinä telarako pienennettiin asetusarvoon 52, 45 ja kuivaukseen lisättiin kolmas infrapunakuivain, jolloin pohjapaperin päälysteen kuivuminen onnistui paremmin. Koepisteen 2 päälystetty pohjapaperi leikattiin arkeiksi myöhempää laboratorioanalyysia varten.

Koeajo 3 suoritettiin kuitukankaalle. Kiinnirullaimen paineeksi asetettiin 2,5 bar, telaraoksi 52, 88 ja teräpaineeksi 1,5 bar. Päälystetty siirtyi voimakkaasti kuitukankaan pintaan. Ajossa kuitukangasrata liikkui vasempaan reunaan, joka aiheutti kuitukankaan reunan repeytymisen. Ajo päättyi ratakatkoon.

Koeajossa 4 teräkulmaa ja telarakoja säädettiin, kunnes rata saatiin pysymään keskellä (kuva 18). Tämä onnistui nostamalla teräpainetta 2 bar:iin ja laske-
malla telarakoja arvoihin 32, 68. Teräpaineen nosto laskee siirtyneen päällyst-
teen määrää, joten päällyste saatiin levittymään tasaisemmin, mutta sitä kertyi
ajon edetessä myös kuitukankaan reunoille. Lopulta rata repesi ja koe päätet-
tiin.



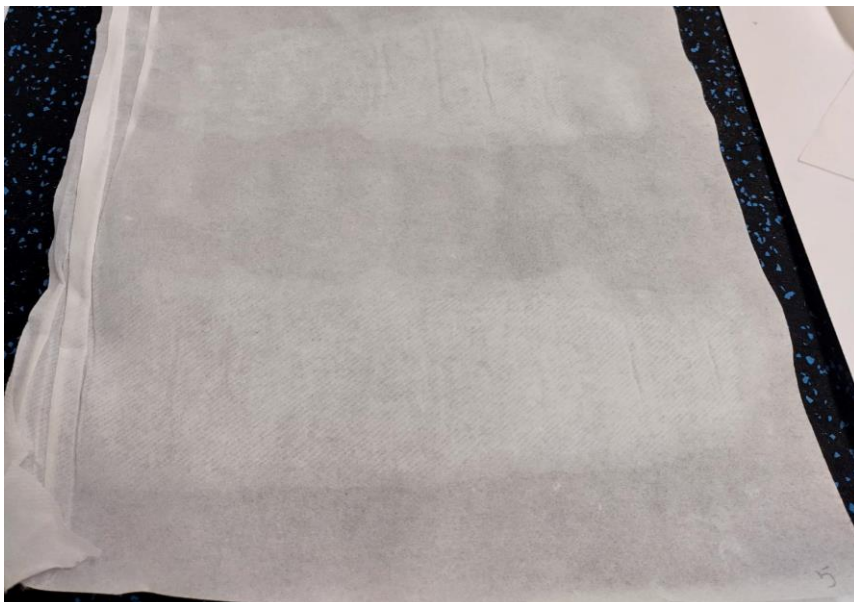
KUVA 18. Koeajo 4 päällystepastalla, jossa 65 % AKD:tä ja 35 % CMC:tä kuiva-
ainepitoisuuden ollessa 16,63 % (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Koeajossa 5 teräpainetta laskettiin 1 bar:iin muiden parametrien ollessa samat
kuin edellisessä koeajossa. Päällystettä siirtyi nyt kuitukankaaseen enemmän ja
edelleen toiseen reunaan alkoi muodostua päällystekertymää (kuva 19).



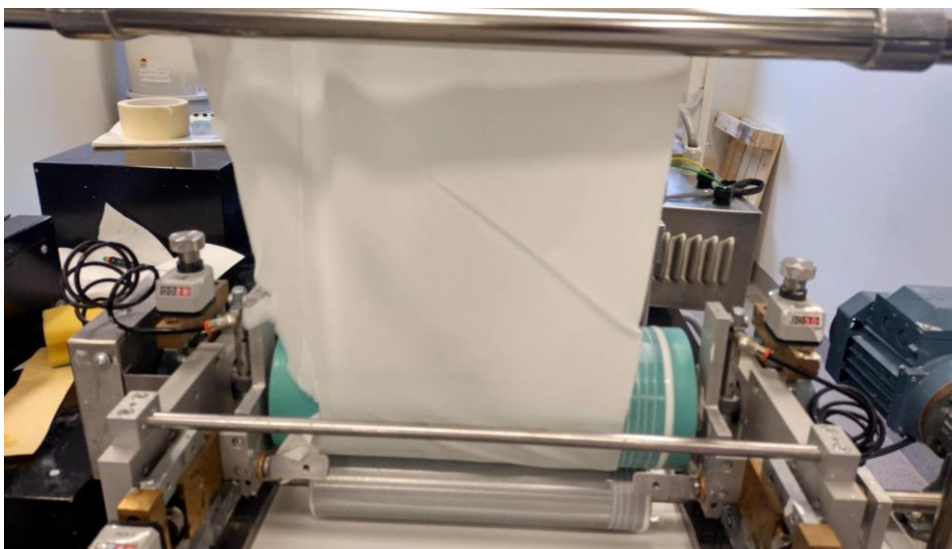
KUVA 19. Päällysteen kertyminen oikeaan reunaan koeajossa 5 päällystepastalla, jossa 65 % AKD:tä ja 35 % CMC:tä kuiva-ainepitoisuuden ollessa 16,63 % (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Päällystystulos jäi ajossa 5 enemmän laikukkaaksi verrattuna ajoon 4. Koeajon 5 päällystystulos on esitetty kuvassa 20. Kuvassa näkyy päällysteen epätasainen levittyminen sekä päällysteen kertyminen toiseen reunaan. Koeajo päättyi ratakatkoon.



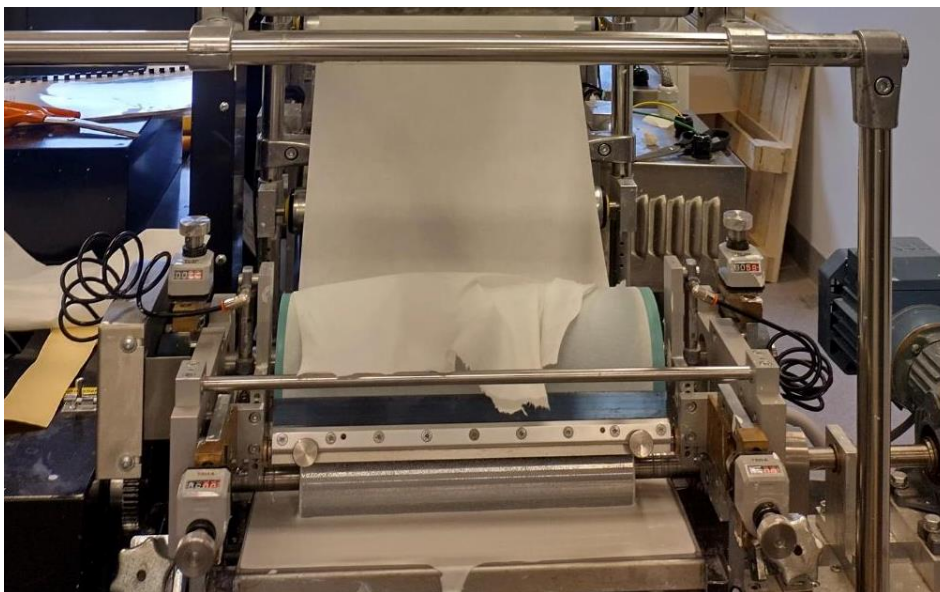
KUVA 20. Päällystystulos koeajossa 5 päällystepastalla, jossa 65 % AKD:tä ja 35 % CMC:tä kuiva-ainepitoisuuden ollessa 16,63 % (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Koeajossa 6 testattiin kaavintaterän poistamisen vaikutusta päällystystulokseen. Päällystettä siirtyi kuitukankaan pinnalle voimakkaasti ja siitä muodostui useita raitamaisia päällystekertymiä (kuva 21). Koeajo päättyi ratakatkoon.



KUVA 21. Päällysteen raidoituminen ja reunarikko koeajossa 5 päällystepastalla, jossa 65 % AKD:tä ja 35 % CMC:tä kuiva-ainepitoisuuden ollessa 16,63 % (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Koeajossa 7 kaavinterä laitettiin takaisin. Telarakoä säädettiin arvoihin 22, 58. Telapaine laitettiin nolliille, koska haluttiin nähdä, miten se vaikuttaa ajettavuuteen. Päälystettä kertyi kuitukankaan pintaan runsaasti, kunnes rata repesi ja kiertyi sivelytelan ympärille (kuva 22). Koska rata repesi aikaisessa vaiheessa, koeajosta ei saatu otettua tarpeeksi näytteitä kaikkia laboratoriomittauksia varten.



KUVA 22. Ratakatko koeajossa 7 päälystepastalla, jossa 65 % AKD:tä ja 35 % CMC:tä kuiva-ainepitoisuuden ollessa 16,63 % (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

5 MITTAUSTULOKSET

5.1 Laboratoriomittausten standardit

Pilot-koeajojen näytteitä kuivatettiin vakio-olosuhteissa vähintään 24 tuntia. Näytteet ilmastointiin vakio-olosuhteissa lämpötilassa 23°C ja suhteellisessa kosteudessa 50 % pohjapaperille standardin ISO 187 ja kuitukankaalle standardin ISO 139 mukaan.

Laboratoriomittaukset suoritettiin standardien mukaan, jotka on koottu laitekoh-
taisesti taulukkoon 5. Taulukossa käytetty L&W on lyhenne laitevalmistajasta Lo-
rentzen & Wettre. Mitatuista ominaisuuksista tiheydelle ei ole standardia, vaan se
tuli määrittää jakamalla neliömassa paksuudella ja kertomalla saatu arvo tuhan-
nella.

TAULUKKO 5. Laboratoriomittausten standardit.

Mittaus	Standardi	Mittauslaite	Rinnakkais- mittaukset
Neliömassa (g/m ²)	ISO 536:2019	L&W-neliömassa	10
Paksuus (µm)	ISO 534	L&W-paksuusmittari	10
Repäisy- lujuus (mN)	ISO 1974:1990	L&W-repäisylujuusmittari	4
Vetolujuus (kN/m)	ISO 1924–3	L&W-vetolujuusmittari	5
Puhkaisu- lujuus (kPa)	ISO 2758, 2759	L&W-puhkaisulujuusmit- tari	10
Vesiabsorptio (g/m ²)	ISO 535:2015	Cobb-vesiabsorptiomittari	8
Öljyabsorptio (g/m ²)	SCAN-P 37:77	Cobb-Unger -öljyabsorptiomittari	10

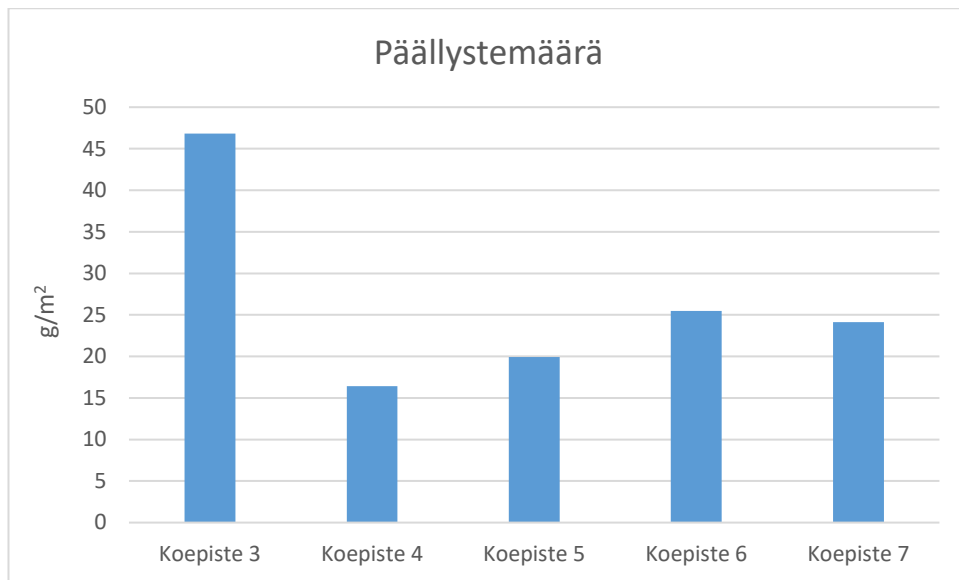
5.2 Yleiset ominaisuudet

Paperin ja kartongin yleisiin mitattaviin ominaisuuksiin kuuluvat neliömassa (g/m^2), paksuus (μm) ja niistä johdettava tiheys (kg/m^3). Neliömassa ilmoittaa tuotteen massan määrän grammoina yhdessä neliömetrissä. Paksuus kuvaa mitattavan tuotteen pintojen välistä etäisyyttä. Paksuus voidaan määrittää tuotetyypin mukaan joko pino- tai arkkipaksuutena. Yleensä paperilaaduille käytetään pinopaksuutta ja kartonkilajeille vastaavasti arkkipaksuutta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 78, 82.) Arkkipaksuus huomioi pinopaksuutta paremmin pintojen epätasaisuudet, joten se valikoitui tässä työssä käytettäväksi mittausmenetelmäksi kuitukankaan päällystemäärän mahdollisen vaihtelun vuoksi. Yleisten ominaisuuksien mittausten lukuarvot on taulukoitu liitteeseen 3.

Pilot-koeajoissa päällystettyjen kuitukankaan koepisteiden päällystemäärät saatiin selville vähentämällä päällystetyn kuitukankaan neliömassa päällystetyn kuitukankaan neliömassasta. Erotus on päällystemäärä yksikössä g/m^2 .

Päällystemäärää lisää pohjamateriaalin karheuden, vesiabsorption ja huokoisuuden kasvu. Nostettaessa päällystepastan viskositeettia tai kuiva-ainepitoisuutta päällystemäärä kasvaa. Vesiretentiota nostamalla päällystemäärä pienenee. Pilot-ajossa päällystemäärää pienentäviä tekijöitä olivat terän kuormituksen, teräkulman ja terän paksuuden lisääminen. Päällystemäärää kasvattavia parametrejä olivat puolestaan ajonopeuden tai applikoitipaineen nostaminen. (KnowPap versio 25.0. 2024c.)

Kuviossa 5 on esitettyinä päällystemäärät kuitukankaan eri koepisteissä. Koepisteessä 3 päällystemäärä oli $46,8 \text{ g/m}^2$, joka on huomattavasti korkeampi kuin loppuisissa koepisteissä, joissa päällystemäärä oli välillä $17\text{--}26 \text{ g/m}^2$. Koepisteestä 3 mitatut neliömassat olivat kaikissa näytekappaleissa systemaattisesti korkeampia kuin muiden koepisteiden näytekappaleissa, joten on todennäköistä, että päällystettä on kertynyt kuitukankaalle ylimäärin.



KUVIO 5. Päällystemäärät 50 g/m² kuitukankaalla viidellä eri pilotkoneen ajoparametreilla päällysteen koostumuksen ollessa kaikissa sama.

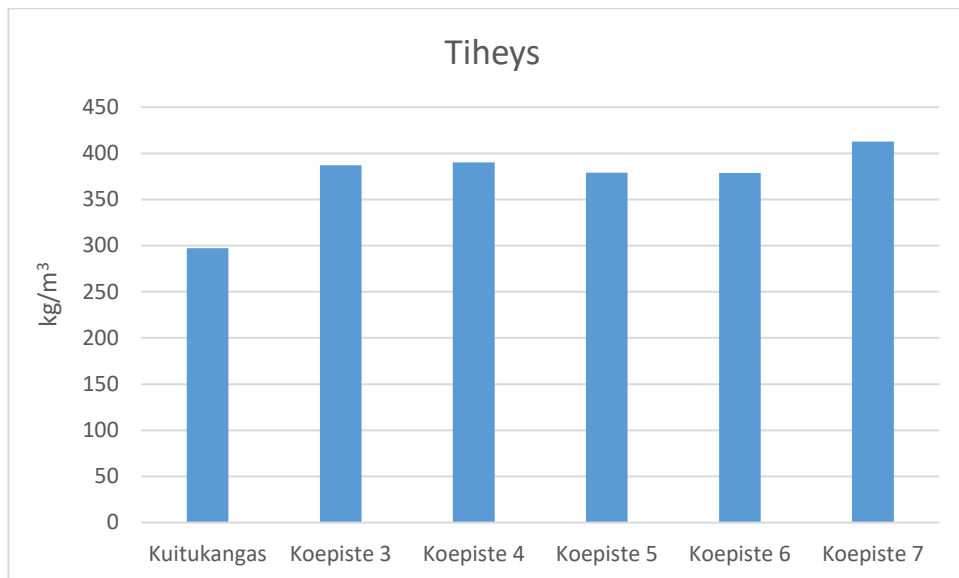
Kuva 23 havainnoi päällysteen vaikutusta kuitukankaaseen. Kuvassa vasemmalla kuitukangas on päällystämätön oikealla päällystetty. Päällystämättömästä kuitukankaasta on nähtävillä kankaan pinnan epätasaisuutta sekä vaaka- että pystysuunnassa. Kuitukankaan päällyste on täyttänyt erityisesti pystysuuntaista epätasaisuutta, vaakasuuntaisten urien ollessa vielä hieman erotettavissa. Päällyste on siis onnistuneesti muokannut kuitukankaan pintaa.



KUVA 23. Päälystämätön ja koepisteen 4 päälystetty kuitukangas (Kuva: Kir-sikka Nordström 2024).

Tiheys on paperin ja kartongin rakenteellinen ominaisuus, joka lasketaan jakamalla neliömassa paksuudella ja kertomalla saatu tulos tuhannella. Erityisesti paperin tiheyteen vaikuttavia ominaisuuksia ovat paperimateriaalin ainestiheys sekä sen huokoisuus. Päälystäminen pienentää huokoisuutta, jolloin tiheys kasvaa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 83.)

Kuviossa 6 on esitettynä päälystämättömästä ja päälystetyistä kuitukangasnäyt-teistä mitatut tiheysarvot. Kuvioista on havaittavissa hyvin päälystyksen vaikutus kuitukankaan tiheyteen teorian mukaisesti, sillä päälystämättömän kuitu-kankaan tiheys oli päälystettyjä kuitukankaita alhaisempi.



KUVIO 6. Tiheysmittaukset päällystämättömällä kuitukankaalla ja viidellä eri pilotkoneen ajoparametreillä päällysteen koostumuksen ollessa kaikissa sama.

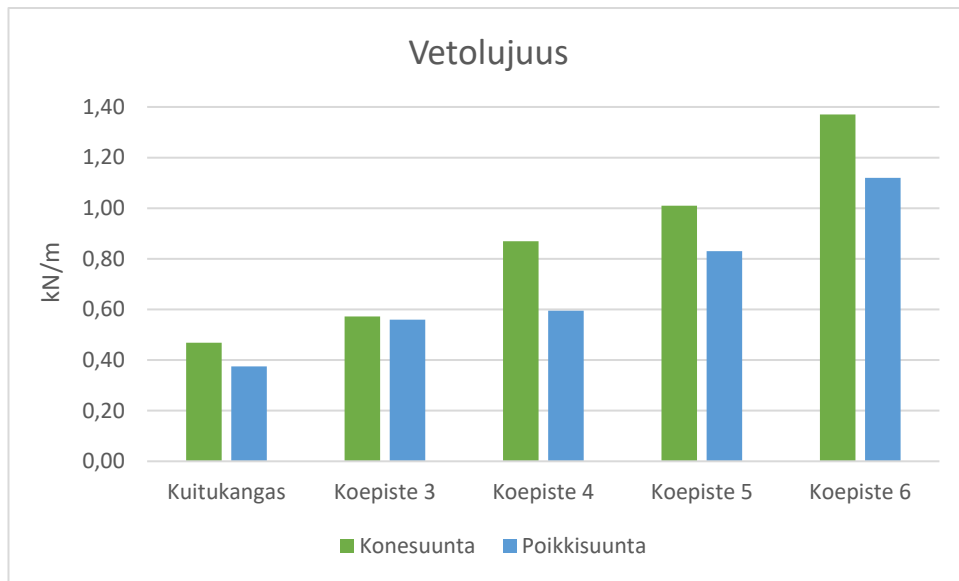
5.3 Lujuusominaisuudet

Paperin ja kartongin lujuutta mitataan lujuusominaisuuksien, kuten repäisylujuuden (mN), vetolujuuden ja puhkaisulujuuden (kPa) avulla. Repäisylujuus kuvaa sen työn määrää, jota tarvitaan määritellyn pituisen repeämän tekemiseen. Poikkisuuntainen repäisylujuus kertoo paperin viansietokyvystä. Neliömassa ja kosteus ovat paperin repäisylujuutta lisääviä. (KnowPap versio 25.0. 2024d.) Tämä oli havaittavissa myös pilotkokeissa kuitukankaalla, sillä huokoinen kuitukangas alkoi kostuessaan repeytyä helposti. Lujuusominaisuuksien mittausdata on esitetty liitteessä 4.

Vetolujuus tarkoittaa maksimaalista kuormitusta, jonka kartonki- tai paperinäyteliiska kestää ilman murtumista, kun sitä vedetään pinnan suuntaisesti. Riittämättömästä lujuudesta aiheutuu helposti katkoja painokoneella. Vetolujuuteen vaikuttaviin tekijöihin lukeutuvat neliömassa sekä kosteus. Neliömassan kasvaessa vetolujuus kasvaa ja kosteuden kasvaessa puolestaan vähenee. (KnowPap versio 25.0. 2024e.)

Kuviossa 7 on esitettyä vetolujuusmittaukset kuitukankaalla. Kaikissa kuitukangasnäytteissä vetolujuutta on ollut enemmän konesuuntaan kuin poikkisuuntaan.

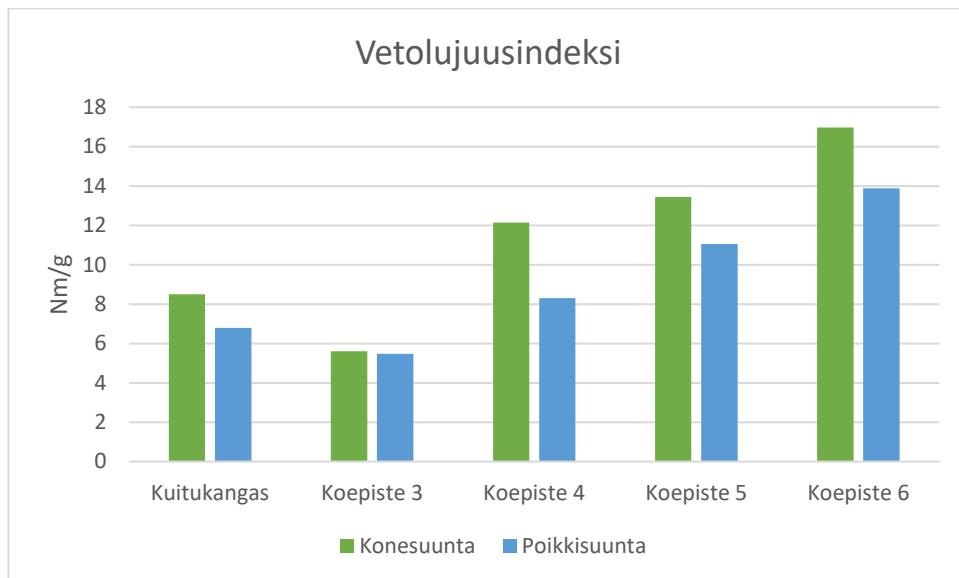
Päällystämättömään kuitukankaaseen verrattuna päällystettyjen koepisteiden vetolujuudet ovat olleet korkeampia, mikä on teoretiedon mukaista. Koepisteessä 3 vetolujuus on alhaisin, vaikka koepisteen päällystemäärä oli suurin mitatuista, eli siinä oli myös korkein mitattu neliömassa. Vetolujuus on koepisteen 3 osalta virheellinen. Todellisen vetolujuuden pitäisi olla enemmänkin koepistettä 6 vastaava. On kuitenkin mahdollista, että päällystemäärän vaihtelu on vaikuttanut mittaustuloksiin, mikä selittäisi todellista matalammat mittaustulokset.



KUVIO 7. Vetolujuudet päällystämättömällä kuitukankaalla ja neljällä eri pilotko-
neen ajoparametreillä päällysteen koostumuksen ollessa kaikissa sama.

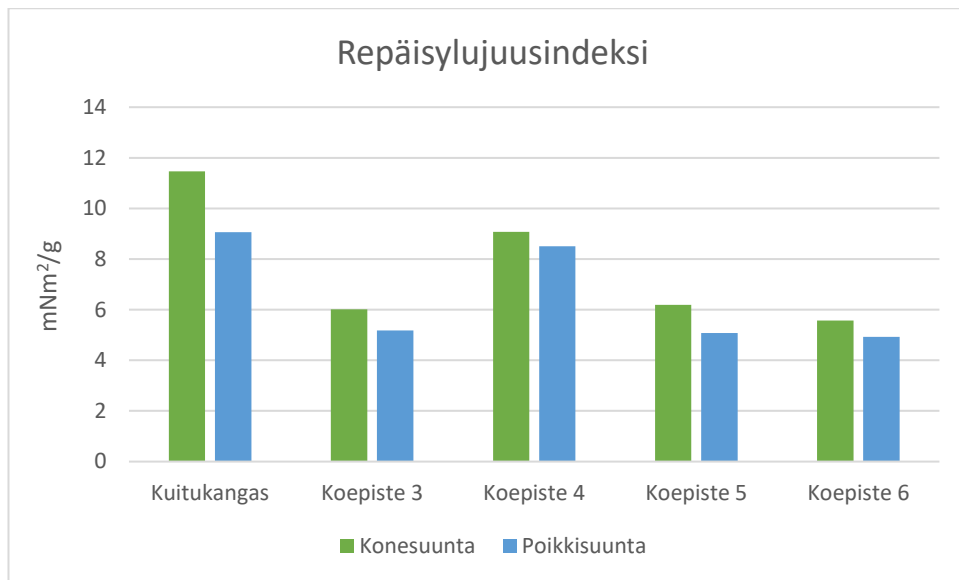
Vetolujuusmittauksista johdettiin vetolujuusindeksit (Nm/g), koska koepisteiden neliömassat eivät olleet yhteneväisiä. Vetolujuusindeksi muodostetaan jakamalla vetolujuus neliömassalla ja kertomalla saatu arvo tuhannella. Indeksit tekee vetolujuusarvoista SI-järjestelmän mukaisia. (KnowPap versio 25.0. 2024e.)

Vetolujuusindeksit on esitetty kuviossa 8. Koepisteen 3, jonka vetolujuusmittaukset todettiin edellä virheellisiksi, indeksiarvot ovat alhaisimpia ja kone- ja poikkisuunta eivät eroa toisistaan. Muissa koepisteissä konesuunnan vetolujuusindeksi on poikkisuuntaa korkeampi. Päällystämättömään kuitukankaaseen verrattuna päällystetyissä koepisteissä vetolujuusindeksi on korkeampi, eli päällyste on parantanut kuitukankaan vetolujuutta.



KUVIO 8. Vetolujuusindeksit päällystämättömällä kuitukankaalla ja neljällä eri pi-
lotkoneen ajoparametreillä päällysteen koostumuksen ollessa kaikissa sama.

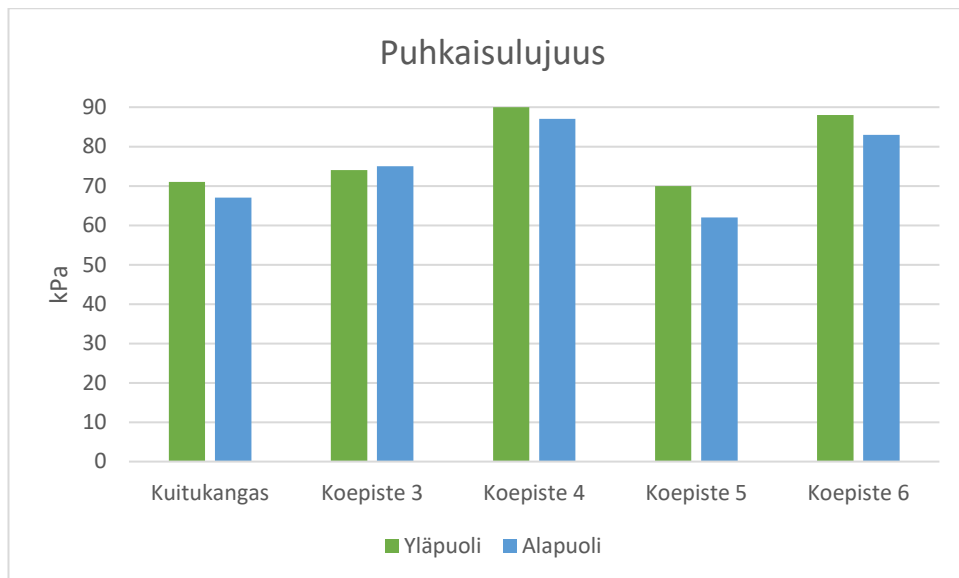
Repäisylujuusindeksi (mNm^2/g) ottaa huomioon näytteiden neliömassavaihtelut. Indeksillä muodostetaan repäisylujuudesta neliömassalla jakamalla. (KnowPap versio 25.0. 2024f.) Kuitukankaiden repäisylujuusindeksit on esitetty kuviossa 9. Kaikissa koepisteissä konesuuntainen repäisylujuus on poikkisuuntaa korkeampi. Koepisteen 4 indeksi-arvot ovat muita koepisteitä korkeampia. Päällystämättömään kuitukankaaseen verrattuna koepisteiden repäisylujuudet ovat matalampia, eli päällyste on heikentänyt repäisylujuutta.



KUVIO 9. Repäisylujuusindeksit päällystämättömällä kuitukankaalla ja neljällä eri pilotkoneen ajoparametreillä päällysteen koostumuksen ollessa kaikissa sama.

Puhkaisulujuus kuvaa maksimipainetta, jonka näyte kestää ennen pinnan rikkoutumista. Sitä käytetään yleisesti paperin lujuuden mittauksessa. Puhkaisulujuuteen vaikuttaa paperilla vetolujuus sekä murtovenymä konesuuntaan, jolloin vetolujuutta parantamalla myös puhkaisulujuus paranee. (KnowPap versio 25.0. 2024g.)

Kuvio 10 esittää kuitukangasnäytteiden puhkaisulujuutta. Kaikissa mittauksissa puhkaisulujuus on yläpuolella parempi. Verrattuna koepisteitä päällystämättömään kuitukankaaseen huomataan arvojen hieman kasvaneen muissa paitsi koepisteessä 5, jonka arvot mukailevat päällystämätöntä kuitukangasta. Kokonaisuudessaan päällyste on parantanut puhkaisulujuutta.

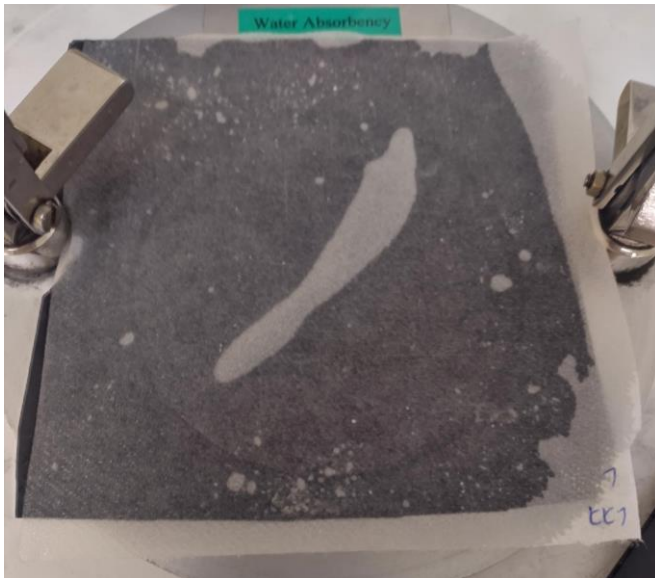


KUVIO 10. Puhkaisulujuudet päällystämättömällä kuitukankaalla ja neljällä eri pilotkoneen ajoparametreilla päällysteen koostumuksen ollessa kaikissa sama.

5.4 Pintaominaisuudet

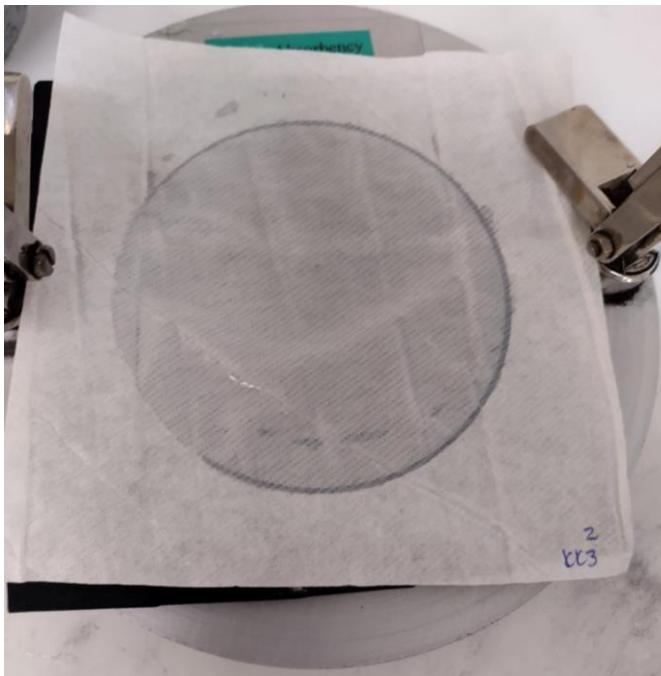
Vesiabsorptio (g/m^2) mittaa näytteeseen tietyssä ajassa imeytyneen veden määrää. Sitä käytetään testattavan tuotteen vedenhylkivyyden määrittämisessä. Öljyabsorptio (g/m^2) mittaa vastaavasti näytteeseen imeytyneen öljyn määrää. (Levlin 1999. 158–159.) Pintaominaisuuksien mittauksissa käytettiin verrokki-datana pilotkoneella päällystettyä pohjapaperia. Pintaominaisuuksien mittausten lukuarvot on lueteltu liitteessä 5.

Vesiabsorptiotesti suoritettiin päällystetylle pohjapaperille sekä kuitukankaan koepisteille. Päällystämättömästä kuitukankaasta ei voinut mitata vesiabsorptiota, sillä vesi imeytyi heti kuitukankaaseen kuvan 24 mukaisesti, jolloin koe oli epäonnistunut. Koepisteestä 3 vesiabsorptiota ei saatu mitattua, koska päällystetty kuitukangasta ei ollut tarpeeksi näytteitä varten.



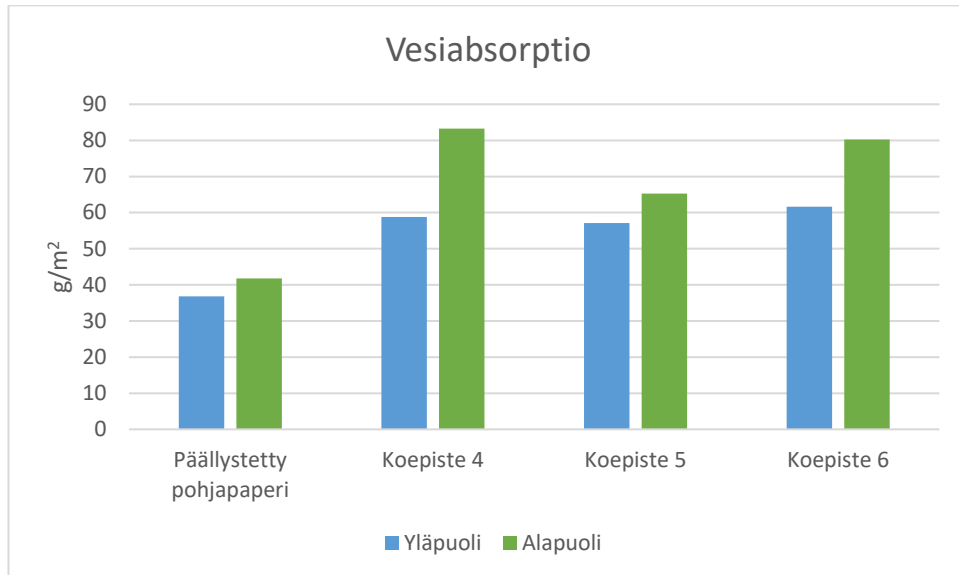
KUVA 24. Epäonnistunut vesiabsorptiotesti päällystämättömällä kuitukankaalla (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Lisäämällä päällystettä kuitukankaalle vesiabsorptiotesti saatiin suoritettua. Koepisteen 4 näytteellä vesi ei enää imeytynyt vesiabsorptiomuotin läpi (kuva 25). Päällysteen havaittiin siis tehneen kuitukankaasta hydrofobista.



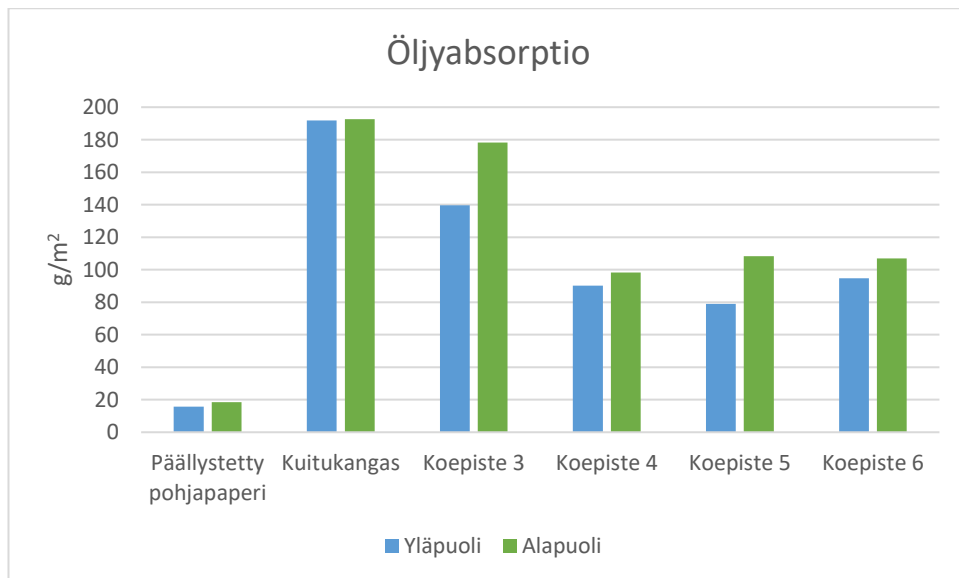
KUVA 25. Onnistunut vesiabsorptiotesti kuitukankaan koepisteessä 4 (Kuva: Kirsikka Nordström 2024).

Vesiabsorptiomittaukset on esitetty kuviossa 11. Päälystetyllä pohjapaperilla ei ollut havaittavissa suuria eroja ylä- ja alapuolen vesiabsorptiossa. Kuitukankaiden koepisteissä vettä on imeytynyt enemmän alapuolelle. Päälystetyn eli yläpuolen vesiabsorptio pysyy kaikissa mitatuissa koepisteissä samassa tasossa.



KUVIO 11. Vesiabsorptiomittaukset päälystetyllä pohjapaperilla ja kolmella eri pilotkoneen ajoparametreilla päälysteen koostumuksen ollessa kaikissa sama. Päälystämätön kuitukangas absorboi niin paljon vettä, ettei sitä pystynyt mittaamaan.

Öljyabsorptiossa (kuvio 12) näkyy selvemmin päälystämättömän ja päälystetyn kuitukankaan absorptio muuttuminen. Päälystämättömän kuitukankaan molemmat puolet absorboivat yhtä paljon öljyä. Lisäämällä kuitukankaalle päälystettä saatiin esille puolieroja päälysteen tehden yläpuolesta enemmän öljyä hylkivää. Koepisteessä 3 arvot ovat muita pisteitä suurempia, koska sen neliömassa oli suurin mitatuista pisteistä. Päälystetyn pohjapaperin öljyabsorptio on ollut huomattavasti vähäisempää molemmilla puolilla kuin päälystämättömällä kuitukankaalla.



KUVIO 12. Öljyabsorptiomittaukset päälystetyllä pohjapaperilla, päälystämättömällä kuitukankaalla ja neljällä eri pilotkoneen ajoparametreillä päälysteen koostumuksen ollessa kaikissa sama.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuitukankaan hydrofobisointi pilotkoneella todettiin laboratoriotesteissä onnistuneeksi. Koeajot pilotkoneella eivät kuitenkaan sujuneet ongelmitta, sillä työssä käytetty ilmarainattu hydrofiilinen kuitukangas katkesi sitä päällystettäessä. Päällystyspastan viskositeettia oli näissä kokeissa nostettu edellisiin kokeisiin (Toikka 2024, 35) verrattuna, mutta se ei auttanut ajettavuusongelmiin, vaan päällyste kasteli edelleen kuitukankaan kokonaan eikä jäänyt vain pintaan. Päällysteen imeytyminen kuitukankaaseen heikensi märän kankaan lujuusominaisuuksia ja johti radan repeytymiseen. Koeajoista saadut tulokset olivat yhtenäisiä Toikan (2024) opinnäytetyön kanssa, jossa ilmarainatulla kuitukankaalla ja AKD-dispersiolla toteutettiin sama tutkimusasetelma.

Korkeaviskoottista päällystysainetta käytettäessä pilotkoneen ajonopeutta sekä teräpainetta tulisi nostaa, jotta päällystemäärä saadaan pienennettyä, mutta kuitukankaan heikon märkäkestävyyden vuoksi tätä ei voitu toteuttaa ja päällystemäärät jäivät korkeaksi. Tämä johti osaltaan myös siihen, että pilotkoneen kuivauskapasiteetti ei riittänyt radan kuivaamiseen.

Mittaukset suoritettiin laitteilla, jotka on suunniteltu käytettäväksi paperi- ja kartonkilajeilla. Samoin työssä käytetyt standardit edustivat paperiteknisiä määreitä, jotka eivät välttämättä toistu samanlaisina kuitukankaita käytettäessä. Kuitukankaiden analysointia olisikin mahdollista jatkaa hyödyntämällä myös tekstiililaboratorion laitteita esimerkiksi kulutuksenkestävyyden osalta. Laboratoriotesteissä pystyttiin kuitenkin toteamaan päällysteen laskeneen repäisylujuutta, vesi- ja öljyabsorptiota sekä nostaneen vetolujuutta ja puhkaisulujuutta.

Mahdollisiin virhelähteisiin työssä lukeutuivat pilotkoneen käyttöön liittyvät virheet, joita on voinut aiheutua koeajojen hajauttamisessa usealle päivälle sekä mahdolliset laitteiston epäpuhtaudet, joista on voinut syntyä virheitä ajoparametreihin. Laboratoriotesteissä kuitukankaan huokoisuus sekä mittalaitteiden käyttö on voinut aiheuttaa virhettä mittaustuloksiin.

Tutkimusta pilotkoneen käytettävyydestä kuitukankailla voi jatkaa käyttämällä tiheämpää kuitukangasta. Työ on toistaiseksi toteutettu vain ilmarainatulla kuitukankaalla, joten mahdollisia tutkimuskohteita voisi olla eri menetelmillä valmistettujen kuitukankaiden ja kuitumateriaalien käyttäminen. Jotta kuitukangas ei absorboisi niin paljon päällystettä, voisi työssä käyttää tiheämpää kuitukangasta. Tällöin myöskään pintaliimaa ei välttämättä tarvitsisi modifioida, vaan se voisi toimia sellaisenaan. Kokeita voisi tehdä myös kalanteroimalla kuitukangas ennen päällystystä, jolloin mahdolliset päällystemäärän vaihtelut tasoittuisivat.

LÄHTEET

EDANA. n.d.a. Why use nonwovens in absorbent hygiene products? Verkkosivu. Viitattu 18.2.2024. <https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-in-daily-life/absorbent-hygiene-products>

EDANA. n.d.b. Why use nonwovens in filtration? Verkkosivu. Viitattu 20.2.2024. <https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-in-daily-life/filtration>

EDANA. n.d.c. Why use nonwovens in medical and healthcare? Verkkosivu. Viitattu 20.2.2024. <https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-in-daily-life/medical-and-healthcare>

EDANA. n.d.d. How are nonwovens made? Verkkosivu. Viitattu 28.2.2024. <https://www.edana.org/nw-related-industry/how-are-nonwovens-made>

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2006. Paperin ja kartongin valmistus. 5. p. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

INDA. n.d. About Nonwovens. Verkkosivu. Viitattu 9.2.2024. <https://www.inda.org/about-nonwovens>

KnowPap versio 25.0. 2024a. AEL / Proledge Oy. Päälystemäärän säätö teräpäälystyksessä. Verkkosivu. Viitattu 20.4.2024. Vaatii käyttöoikeuden. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_technology/5_coating/7_metering_of_coat_weight/frame.htm

KnowPap versio 25.0. 2024b. AEL / Proledge Oy. Pastan applikointi teräpäälystyksessä. Verkkosivu. Viitattu 20.4.2024. Vaatii käyttöoikeuden. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_technology/5_coating/6_application_of_coating_colour/frame.htm

KnowPap versio 25.0. 2024c. AEL / Proledge Oy. Päälystykseen prosessi- ja ohjaussuureet. Verkkosivu. Viitattu 21.4.2024. Vaatii käyttöoikeuden. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_technology/5_coating/18_process_and_control_parameters/frame.htm

KnowPap versio 25.0. 2024d. AEL / Proledge Oy. Repäisylujuus. Verkkosivu. Viitattu 22.4.2024. Vaatii käyttöoikeuden. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/4_strength_properties/2_tear_strength/frame.htm

KnowPap versio 25.0. 2024e. AEL / Proledge Oy. Vetolujuus. Verkkosivu. Viitattu 22.4.2024. Vaatii käyttöoikeuden. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/4_strength_properties/1_tensile_strength/frame.htm

KnowPap versio 25.0. 2024f. AEL / Proledge Oy. Repäisylujuus. Verkkosivu. Viitattu 29.4.2024. Vaatii käyttöoikeuden. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/4_strength_properties/2_tear_strength/frame.htm

KnowPap versio 25.0. 2024g. AEL / Proledge Oy. Puhkaisulujuus. Verkkosivu. Viitattu 23.4.2024. Vaatii käyttöoikeuden.

http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/4_strength_properties/3_bursting_strength/frame.htm

Levlin, J. 1999. General physical properties of paper and board. Teoksessa Söderhjelm, L. et al. 1999. Papermaking science and technology. Book 17: Pulp and paper testing. Helsinki: Fapet, 158–159.

Toikka, E. 2024. Pilot-päällystyskoneen käyttöönotto kuitukankaalle. Biotuotekniikan tutkinto-ohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202404176761>

TUNI. n.d. SUSTAFIT. Verkkosivu. Viitattu 8.2.2024. <https://www.tuni.fi/fi/tutkimus/sustafit>

Russell, S. J. 2022. Handbook of Nonwovens. E-kirja. 2. p. Cambridge: Woodhead Publishing. Viitattu 15.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://www.sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/book/9780128189122/handbook-of-nonwovens>

Wennman, M. et al. 2023. The use of nature's own chemistry to produce hydrophobic binders for nonwovens, combining a polyelectrolyte complex and pea protein. Industrial crops and products 203. Viitattu 18.4.2024. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://www.sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0926669023010099>

WTP Nonwovens. 2019. Know Your Nonwovens: Hydrophobic Material vs Hydrophilic Material. WTP Nonwovens-blogi 2.5.2019. Viitattu 14.2.2024.

<https://www.wtpnonwovens.com/blog/hydrophobic-material-vs-hydrophilic>

Wulfhorst, B. & Gries, T. 2012. Textile Technology. E-kirja. München: Carl Hanser Fachbuchverlag. Viitattu 28.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://app-knovel-com.libproxy.tuni.fi/kn/resources/kpTT000012/toc?cid=kpTT000012>

LIITTEET

Liite 1. CMC-liuoksen resepti

Pastareseptilaskuri: CMC

Lähtötiedot	Resepti	Kuivap/g	Vesi/g
Määrä/g	500,0		485
Kuiva-ainepitoisuus/%	3,0	15	

Pigmentti	Osa	d.s./%	Määrä/g
CMC	100,0	98,0	15,3
Calcium carbonate	0,0	74,0	0,0
Talc	0,0	1,0	0,0
CaSO ₄	0,0	1,0	0,0
TiO ₂	0,0	1,0	0,0
Calsinated Kaolin	0,0	1,0	0,0
Aluminium hydrate	0,0	1,0	0,0
Saostettu kaoliini	0,0	1,0	0,0
Satine White	0,0	1,0	0,0
Sodiumaluminiumhydrate	0,0	1,0	0,0
Plastic pigment	0,0	40,0	0,0

Yhteensä	100,00		15,31
Vettä raaka-aineissa/ g		0,31	
Lisävesi/ g		484,69	

Liite 2. Päällystypastan resepti

Pastareseptilaskuri: Päällystypasta

Lähtötiedot	Resepti	kuivap./g	Vesi/g
Määrä/g	2500,0		2100
Päällysteen kuiva-ainep (%)	16,0	400	

Pigmentit	Osaa	d.s./%	Määrä/g
AKD	100,0	23,0	1625,4
Calcium carbonate	0,0	74,0	0,0
Talc	0,0	1,0	0,0
CaSO ₄	0,0	1,0	0,0
TiO ₂	0,0	1,0	0,0
Calsinated Kaolin	0,0	1,0	0,0
Aluminium hydrate	0,0	1,0	0,0
Saostettu kaoliini	0,0	1,0	0,0
Satine White	0,0	1,0	0,0
Sodiumaluminiumhydrate	0,0	1,0	0,0
Plastic pigment	0,0	40,0	0,0

Sideaineet (5-15 osaa)	Osaa	d.s./ %	Määrä/g
Styrene-Butadiene latex	0,0	1,0	0,0
Styrene-Acrylate latex	0,0	40,0	0,0
Starch	0,0	10,0	0,0
CMC	7,0	3,0	872,3

Lisä-aineet	Osaa	d.s./ %	Määrä/g
Dispersant	0,00	40,0	0,0
Hardener	0,00	1,0	0,0
Calciumstearate	0,00	42,0	0,0
De-foamer	0,00	1,0	0,0

Yhteensä	107,00	2497,63
-----------------	---------------	----------------

Vettä raaka-aineissa/ g	2097,63
-------------------------	---------

Lisävesi / g	2,37
---------------------	-------------

Liite 3. Yleisten ominaisuuksien mittaukset

Yleiset ominaisuudet	Päällystetty pohjapaperi	Kuitukangas	Koepiste 3	Koepiste 4	Koepiste 5	Koepiste 6	Koepiste 7
Neliömassa (g/m²)							
Keskiarvo	44,31	54,93	102,47	71,43	74,36	79,62	79,79
Keskihajonta	2,11	1,77	3,55	2,53	6,35	7,63	9,40
Tiheys (kg/m³)	804,19	295,82	388,57	389,28	375,15	373,81	415,13
Paksuus (µm)							
Keskiarvo	55,10	185,70	263,70	183,50	198,20	213,00	192,20
Keskihajonta	0,18	3,77	5,38	3,10	6,76	9,67	8,01
Päällystämäärä (g/m²)	-	-	46,82	16,41	19,94	25,49	24,12

Liite 4. Lujuusominaisuuksien mittaukset

Lujuusominaisuudet	Päällystetty pohjapaperi	Kuitukangas	Koepiste 3	Koepiste 4	Koepiste 5	Koepiste 6
Puhkaisulujuus (kPa) yp						
Keskiarvo	101,00	71,00	74,00	90,00	70,00	88,00
Min	88,00	54,00	69,00	73,00	57,00	64,00
Max	109,00	74,00	81,00	107,00	78,00	109,00
Puhkaisulujuus (kPa) ap						
Keskiarvo	101,00	67,00	75,00	87,00	62,00	83
Min	90,00	51,00	55,00	81,00	50,00	62
Max	110,00	72,00	93,00	95,00	73,00	93
Repäisylujuus (mN) ks						
Keskiarvo	1078,00	633,00	614,00	650,00	465,00	450
Keskihajonta	67	84	81,00	157,00	119,00	196,00
Repäisylujuusindeksi (mNm²/g) ks	24,39	19,53	10,57	15,05	14,34	13,36
Repäisylujuus (mN) ps						
Keskiarvo	905,00	500,00	529,00	609,00	382,00	398
Keskihajonta	110	89,00	75,00	89,00	124,00	205
Repäisylujuusindeksi (mNm²/g) ps	20,48	9,06	5,18	8,50	5,08	4,93
Vetolujuus (kN/m) ks						
Keskiarvo	2,34	0,47	0,57	0,87	1,01	1,37
Variaatiokerroin	4,01	28,55	5,17	5,80	11,34	4,44
Vetolujuusindeksi (Nm/g) ks	52,95	8,49	5,61	12,15	13,44	16,98
Vetolujuus (kN/m) ps						
Keskiarvo	1,58	0,38	0,56	0,60	0,83	1,12
Variaatiokerroin	2,10	11,94	2,61	27,30	21,74	3,61
Vetolujuusindeksi (Nm/g) ps	35,75	6,79	5,48	8,31	11,04	13,88

Liite 5. Pintaominaisuuksien mittaukset

Pintaominaisuudet	Päällystetty pohjapaperi	Kuitukangas	Koepiste 3	Koepiste 4	Koepiste 5	Koepiste 6
Vesiabsorptio (g/m²) ap						
Keskiarvo	41,76	-	-	83,24	65,28	80,24
Keskihajonta	16,62	-	-	13,69	6,64	25,01
Vesiabsorptio (g/m²) yp						
Keskiarvo	36,84	-	-	58,76	57,08	61,64
Keskihajonta	16,62	-	-	2,68	4,93	13,64
Öljyabsorptio (g/m²) ap						
Keskiarvo	18,56	192,54	178,32	98,32	108,34	106,98
Keskihajonta	1,85	4,68	37,91	6,45	19,97	11,64
Öljyabsorptio (g/m²) yp						
Keskiarvo	15,68	191,88	139,56	90,12	78,94	94,78
Keskihajonta	6,74	15,15	79,18	9,00	11,32	7,86